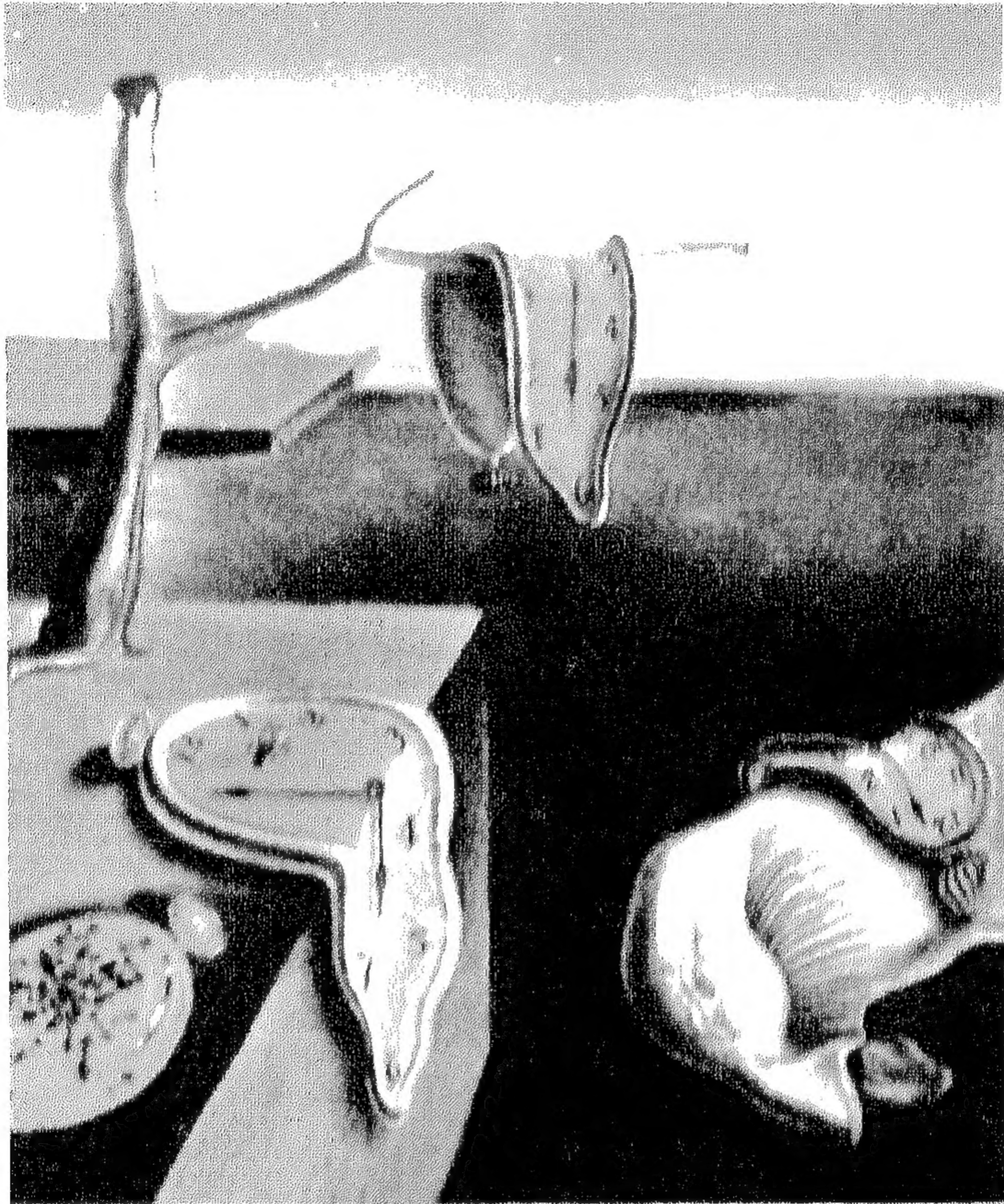


ريحي لستين



أَبْكَاءُ الزَّمَانِ

نور الدين

السَّيِّئَةُ - الْأَنْطُرُوبِيَا - الصَّيْرُورَةُ

تَرْجَمَةُ

محمد حسن إبراهيم

الإشراف الفني زهير الحمو

ريحي لستين

أبناء الزمان
السببية - الأنطروپيا - الصيرة

ترجمة
محمد حسن إبراهيم



منشورات وزارة الثقافة

في الجمهورية العربية السورية

دمشق ١٩٩٨

العنوان الأصلي للكتاب :

RÉMY LESTIENNE

**LES
FILS DU TEMPS
CAUSALITE, ENTROPIE, DEVENIR
Préface de Jean-Didier Vincent**

أبناء الزمان : السببية، الأنطروبيا، الصيرورة = Les Fils du temps
/ ريمي ليستين؛ ترجمة محمد حسن ابراهيم . - دمشق : وزارة الثقافة،
١٩٩٨ . - ٢٧٩ ص ؛ ٢٤ سم . - (دراسات علمية ؛ ٣٣).

١-١١٥ ل ي س أ ٢-١٥٣٠ ل ي س أ ٣-العنوان
٤-العنوان الموازي ٥-ليستين ٦-ابراهيم ٧-السلسلة
مكتبة الأسد

الايداع القانوني : ع - ١١٤٦ / ٧ / ١٩٩٨

دراسات علمية

« ٣٣ »

مقدمة

تؤكد مقدمة بحضورها واقع ما «ليس بعد موجوداً» الشيء اللامعطي بعد (moch - nicht vorhanden): النص . بعبارة أخرى إنها مقدم - نص ، نوع طرح على بساط البحث لقراءة (لمطالعة) يوشك أن يتحول إلى ضياع وقت بالنسبة للقارئ وإلى ذريعة بالنسبة للمقدم حتى يحل محل الكاتب بادعاء قوله ببضعة أسطر ما قد أتاحت أعوام تفكير التعبير عنه بفصول مؤلفة بوضوح لا تحتاج إلا إلى جمهور قراء كي يجعل زمان الكتابة الشاق يتشظى إلى ألوف أزمنة قراءة . فالكتاب هو بالفعل مستودع زمني عجيب ، انتاج هذا الصانع الماهر للزمان الذي هو الإنسان .

إذاً ، عن هذا الكتاب لن أتحدث ، اللهم إلا كي أقول أنني قد تابعت من حين إلى حين إعداد البطيء ، باهتمام طال أمده بعد القراءة ، وأستطيع دون خوف أن أكون قد أخطأت استباق اللفة التي سوف تعترى القارئ ، لكن بشرط أن يوافق على بذل الجهد الذي يتطلبه تنقله بين علوم مختلفة جداً كالفيزياء وعلم الفلك والرياضيات والبيولوجيا ، وفهم الكتاب لا يستدعي ، في أي وقت من الأوقات ، معرفة اختصاصي ، ولا حاجة لأن نستعمل حتى من أجل هذا المجازات البلهاء والمبتذلة التي تُفرض علينا بصورة عامة بحجة التبسيط ، إن بضع الملاحظات التمهيديّة التي أورها سوف تكون منحصرة في المجال الذي أعرفه ، أي البيولوجيا ، وسوف لن يكون لها من غاية غير تأجيح لهفة القارئ وفتح شهيته للمعرفة ، شأنها شأن المشهيات التي لا تدل بأي شكل من الأشكال على المأدبة التي أنتم مدعوون إليها .

إن الزمان، وهو مفهوم بسيط، لا يمكن أن يكون معرّفاً بوساطة مفاهيم أبسط؛ فمثل هذه المفاهيم الأبسط لا يوجد. إن تعريفاً للزمان سوف يكون، والحالة هذه، دائماً، تعريفاً غير مباشر ومرتبّطاً بالشروط الخاصة لتجلياته، على هذا النحو يتجلى الزمان الحيواني قبل كل شيء على أنه ظاهرة تتيح التوفيق بين المكان الجسمي للموجود والمكان الخارجي الذي يتحرك فيه هذا الموجود. إن الزمان، على ما هو، يؤلف مع المكانين الجسمي وخارج الجسمي المركبة الثالثة لهذه الحالة المتموجة المركزية التي تنعت الـ «موجود في العالم». والتخيلي يتصور بسهولة الماضي والمستقبل والحاضر الذي يمكن أن يعتبر «كخليط» من الماضي والمستقبل. وتوجد هندسة للزمان: فالنقطة بالنسبة للخط كاللحظة بالنسبة للمدة. والنقطة ليست مُشتملةً في جزء من المكان ولا يمكن أن تكون معرفة بصورة غير مباشرة بغير تقاطع خطين. قياساً على ذلك، تمثل اللحظة تجلي التوافق بين زمان المكان الجسمي وزمان المكان خارج الجسمي. فجريان الزمان يكون آنذاك تدفق لحظات متصل. إن هذا التوافق عارض وهش. فالدماغ يديره، وهو يقتضي تدخله في كلي المكانين المتجابيين. لهذا الغرض على الدماغ أن يستبق: وأن يحصل توقع، هو أن يتم نظر إلى الوراء من أجل أن يُسأل الماضي. وليس الحدس الاستباقي غير تقدير احتمالي مؤسس على معرفة وقائع سابقة مجمعة في الذاكرة. ولدى الإنسان، بلغت ملكة الحدس الاستباقي درجة رفيعة بسبب غناء قشرة الدماغ الجبهية. إن الحيوان أيضاً يملك إمكان الحدس الاستباقي وتصرفاته تتوقف على اختيار استراتيجيات مرتبطة بانتظار حوادث متوقعة غير أنه لا يوجد ثم ما يماثل الاستطاعات الاستباقية العجيبة التي للإنسان.

ويُعدّ مزية من مزايا كتاب ريمى ليستين العديدة، بالمقارنة مع المؤلفات الحديثة العهد التي تعالج موضوع الزمان، إظهاره وجهاً أساسياً من أوجه مفهوم الزمان: الصيرورة. كيف سوف يكون الطقس غداً؟ في هذا الإستفهام، ينضم علم الأرصاد التلقائي لـ «الموجود في العالم» إلى الانطولوجيا فريمى ليستين يظهر كيف أن أخذ الصيرورة بالحسبان بجر إلى أن يُطرح للمناقشة طرحاً جذرياً مثال السببية

ومفاهيم المكان - زمانية المرتبطة به . إن رأيي الشخصي في هذه المناقشة قليل الأهمية ، لذلك سوف أكتفي بأن أجلب إليها التعريف الذي يقدمه أمبروز بيرس عن المعلول : «الثاني من ظاهرتين تبدوان دائماً معاً وبالترتيب نفسه . فالأولى ، المدعوة سبباً ، تعتبر مسببة للظاهرة الأخرى ، الأمر الذي ليس مبرهنأً بشكل أفضل مما لو كان من يبرهن شخص لم يسبق له أبداً أن رأى كلباً إلا وهو يطارده أرنباً ، فيعلن أن الأرنب هو سبب الكلب» . بالمناسبة ، توجد نقطة ثانوية لكنها ليست عديمة الأهمية أستطيع دون مجازفة بتشويش القارئ أن أشير إليها في هذه المقدمة : نقطة أهمية الأرنب وابن عمه الأرنب البري في المناقشة الفلسفية حول الزمان !

«أولا لا ! سأكون متأخراً» أي شيء عادي أكثر من أرنب أبيض يتدمر من إكراهات الزمان ؟ ولماذا قد تندهش أليس من استعجال الحيوان ، أليس التي تخضع حياتها لإيقاعات الدروس و«شاي الساعة الخامسة» شاي أمها ؟ مع ذلك ، عندما يخطر للحيوان أن ينظر إلى ساعته ، قبل أن يعود إلى الجري أكثر فأكثر ، تنتصب أليس بقفزة واحدة : إنها لم ترقط أرنباً مزوداً بصدرية ذات جيب ولا بساعة . إن أليس مخطئة في اندهاشها ؛ فالساعات والميقاتيات هي الأشياء الأكثر شيوعاً لدى الحيوانات .

فعلاً ، توجد ميقاتية مؤلفة من مائة عصبون في عين الحلزون : وهي تدل على الأيام بدقة تناسب صانع ميقاتيات سويسرياً . ويقال بأن المقصود هو «ناظمة -hace maker» يوماوية لأنها تملك خاصية إنتاج إيقاعات على غرار موقنة موسيقية تحدد النغم وفق دور مدته يوم تقريباً . وهذا الدور هو خاصية ذاتية للخلايا العينية : هذه الخلايا تستمر ، عندما تكون مفصولة عن العين وعن بقية الجسم ، في إبداء تعاقب نشاط وتوقف وفق دورية دورها ٢٤ ساعة ، فالساعة الحية ، شأنها شأن كل ميقاتية ، يجب أن تضبط تبعاً للفصول والمناطق الزمانية ، والدماغ هو الذي يقوم بهذا الضبط بوساطة الطرق العصبية التي تبدل طور الميقاتية دون تغيير دورها ، ويستعمل الدماغ ، من أجل نقل أوامره ، رسولاً كيماوياً ، السيروتونين ، الذي هو ميقاتي الحي الحق ، موجوداً لدى جميع الأنواع الحيوانية العليا .

إن عملية صنع الزمان تبدو والحالة هذه خاصة أساسية من خواص الحي . ويشكل الإيقاع اليوماوي إمكانية عجيبة للتكيف مع شروط الحياة على سطح الأرض . فكل الموجودات الحية الأكثر تطوراً من الباكتریات تبدي إيقاعات بيولوجية (تعاقب نشاط - توقف ، دورة درجات حرارة ، إلخ) . تحصل وفق دور مدته ٢٤ ساعة . وهذه الإيقاعات اليوماوية داخلية المنشأ وتكون جزءاً مكملًا من الخلية .

لدى الموجودات متعددة الخلايا ، وحدها بضعة خلايا تحافظ على خاصة انتاج الإيقاع اليوماوي هذه ، فهي الميقاتيات الداخلية ، المكونة من عصبونات متخصصة ، يمتلكها لا الحلزون وحسب بل أيضاً حيوانات أكثر تطوراً : الفأر وأرنب أليس ، و . . . الإنسان . لا أحد يستطيع الإفلات من هذه الأوزان الإيقاعية التي يفرضها الدماغ ، لتتصور أن ساعاتنا البيولوجية قد توقفت ، كساعة صانع قبة أليس المجنون (إن الساعة تشير دائماً إلى الخامسة مساءً ، ساعة تقديم الشاي ، الشاي الأبدية) ، لم تعد هناك ساعات عندها نأوي إلى السرير وساعات عندها نستيقظ من النوم ، نجلس إلى الطاولة ، نعمل . . . إن عدداً من نشاطاتنا ومن افرازاتنا الهورمونية وحركات أحشائنا ربما سوف لن يستطيع الاستغناء عن إيقاع الحركة اليومي هذا . إن العديد من «الساعات» التي يأويها دماغنا تضبط عملية توظيف الزمان لكل وظيفة من وظائفنا . إلا أن ميقاتية وحيدة ، تدعى «الميقاتية الرئيسة» تغلف وتحكم هذه الكومة من النواصات نوعاً ما على غرار ما يحصل في محطة سان - لازار للقطارات . وتكون مطمورة في أعماق قاع الدماغ ، في نواة وطاء ما فوق التصلبات .

والإيقاع اليوماوي يوجد قبلياً لدى الجنين : وعليه فإن إيقاع الأم اليوماوي يعيقه ، لكنه يمكن أن يكون مفصلاً عنه بسهولة . إن مخططات الميقاتية تكون من جملة الإرث المورثاتي للفرد . وقد عزل بيولوجيون منذ وقت قريب ، على الكروموزوم X لذبابة الخل ، المورث المسؤول عن هذه الخاصة الدورية . والغريب في الأمر هو أن الطافرات تتكشف عن إيقاعات قصرت أو طوّلت أو غيّبت . كما

نعرف شذوذات زمائية أخرى ، مثل نغم التزاوج اللامتناهي ، أو العكس ، المختصر إلى بضعة ثوانٍ إن مورثاً مفرداً يبدو والحالة هذه حاكماً لجميع إيقاعات العضوية الحية : «مورث يصنع الزمان» . فبدءاً من هذه المورثة ، سوف يستطيع الباحثون على ما يحتمل أن يتابعوا مختلف المراحل الكيماحيوية التي تحول خلية إلى نواسٍ وأرنب أليس يستطيع دائماً أن يأمل بإعادة صنع الزمان الذي ضيعه .

إن ريمي ليستين أحكم وأعلم من أرنبي . فمن الزمان السببي إلى الزمان الصيروي حتى يصل في النهاية إلى الزمان الحي ، نجد أن الدرب الذي يسير بنا عليه هو مسارٍ مساريٍّ حقيقي وإذا كانت كلمة «موت» لا تظهر في أية لحظة ، ففي الحديث عن «مصير الحياة» ينتهي كتابه .

جون - ديديه فانسون

* * *

مدخل

لكن المسألة المحيرة هي معرفة، ما إذا كان الزمان،
بدون النفس، ربما سوف يكون موجوداً أم لا .
أرسطو

فيزياء، ٢٢٣

إن الزمان موجود ثم، مستحوذ. ولدينا إحساس مدهش بأننا نحيا دائماً في
حالة توازن على ذروة موجة، لا تتوقف عن الإنطواء، ونستطيع، بتحليلنا هذا
الإنطباع، أن تميز فيه عدة مركبات.

إن لإحدى هذه المركبات علاقة بنزوعنا إلى العمل. ففي الصباح نعدّ، عندما
نستيقظ، أحياناً، برنامجاً لما ننوي القيام به في أثناء النهار. وحيث أننا عادة،
نتأكد، في المساء، من أن هذا البرنامج لم ينفذ تماماً، فزمان العمل هذا يُوَجد عدم
رضى دائماً إنه يوجب الشعور بقرار الزمان.

والمركبة الثانية تستدعي شهادة حواسنا، وتحدثنا عن زمان يحدد سلطانه على
العالم الخارجي، بمقدار ما تكون إدراكاتنا الحسية غير وهمية. وزمان التغير هو ما
تذكر به الحركات التي تعرض نفسها لأبصارنا أو إتساق الأنغام الموسيقية الذي أتيح
لنا سماعه.

لكن هل من حاجة حتى إلى شهادة حواسنا؟ لنندع وعَيْنَا وعيوننا مغمضة،
بعد أن تكون الميلوديا (اتساق الأنغام) قد توقفت، يحومُ فوق خواء الأحاسيس
هذا: الزمان لا يزال يمر؛ إنه «الزمان عينه»، أو «الشكل الذي يتخذه تتابع حالات

وعينا عندما تدع أنانا نفسها تحيا» الذي يتحدث عنه برغسون كما عن الشكل الأكثر نقاء لحدس الزمان (الدوام) .

والزمان، ما أن يتلاشى، حتى يخلف عضته التي تقنعنا بأنه ليس لا وهماً ولا حركة من حركات النفس . فحولنا لا تتحرك الأشياء وحسب بل تشيخ، مثلما نشيخ نحن أنفسنا، ونحن لا نعيش في الزمان وحسب : نحن نستهلك الزمان، كما تحرق سيارة بنزينا، وبعدُ هل إن التشبيه مغلوطٌ، إذ، بدون بنزين، تظل السيارة سيارة، لكن بدون زمان يغيب كل شيء، مثلما يحصل في السينما : إذا توقف عرض الفيلم، لا نحصل على فوتوغرافيا آنية، بل على كارثة ؛ فالفيلم يحترق والصورة تضيع !

قد يبدو غريباً أن تكون تجربة بدائية في مثل بدائية تجربة الزمان وفراره قادرة على أن تكون مادة كتاب، يروي معطيات تاريخ العلم والمكتسبات الأقرب عهداً للبحث الحديث . إن ظواهر الحياة اليومية تحضنا على تبني موقف واقعي، بالمعنى الفلسفي للعبارة، أي، التشبث بثبات بأن الزمان يوجد فعلاً، بشكل مستقل عنا وعن خطاباتنا . بيد أن مسألة واقعية أو وهمية الزمان ليست بحال من الأحوال غير لائقة . إن هذا الفرار الذي نعدّه بالفطرة أكيداً هو في الواقع موضوع نقاش امتد عشرات القرون . والفكر بعيداً عن أن يكون على وفاق مع الحس المشترك، الفكر الفلسفي منذ ألفي سنة والفكر العلمي منذ قرنين متجهان طوعاً نحو اتجاه آخر : الاتجاه الذي دل عليه إيمانويل كانط، الذي فيما يخصه لا يرى لا الزمان ولا المكان متممين إلى العالم الخام - العالم كما هو حقاً، بشكل مستقل عن حواسنا - بل إلى العالم الذي تصوّره عقلنا وحسب .

منفذنا إلى الزمان غير مباشر

من يستطيع أن ينكر بالفعل أن المعرفة التي نملكها عن العالم الخارجي يقوم بدور الوسيط فيها إدراكاتنا الحسية، وأن الإدراك الحسي المنظم - الذي تكون الحوادث فيه مرتبة حسب الموضع واللحظة حيث تحدث -، يقتضي أن نعين إطاراً

مكانياً وزمانياً؟ ونرى ذلك، إذ حتى عندما يكون المقصود أن نتكلم عن المزايا الذاتية للعالم الغاطس في الزمان، ننطلق دائماً من الذات من التفسيرات الرمزية التي نقدمها لإدراكاتنا الحسية. بسبب ذلك، نجد بعض المشقة في إدراك وتمييز ما ينتمي في هذا المفهوم إلى الطبيعة في ذاتها حقاً وما ينتمي إلينا، بعبارة أخرى، ما ربما يمكن جيداً أن لا يكون غير انعكاس لآليات جملتنا العصبية المركزية وآلياتنا الإدراكية. إننا بشكل طبيعي تماماً، نسائل أنفسنا عن كلية التدفق الذي يحملنا وينقلنا. فهل إن النجوم السماوية والذرات والأشياء التي تحيط بنا موجودة أيضاً في الزمان؟

من جهة أخرى، هل إن الزمان يلعب دوراً خاصاً في ظواهر الحياة؟ هل يلعب دوراً فعالاً في تطور فرد، في الإبقاء على وظائفه الحيوية دون تطلع إلى المستقبل، في ظاهرة الوعي والمعرفة المتعقبة، المشروحة - في النطاق الذي يمكن فيه أن تكون مشروحة - بتعابير الميكانيكيات العصبية؟

ها إننا موجودون حقاً في مجال فيه سبق التساؤل الفلسفي الإسهام العلمي بحصر المعنى. وفي الواقع، نعرف في هذه الأيام كم يستطيع الوعي أن يقوم بدور موشور مشوه على أحاسينا الخام، ويرشحها ويكيفها مع متطلباتنا المدفونة. نعرف، مثلاً، أن نصفي كرة دماغنا تتلقى انطباعات حسية مختلفة، غير متكاملة في إدراك حسي وحيد متماسك إلا في مرحلة رفيعة نسبياً من مراحل النشاط القشري. في الواقع، أثبت عالم علم النفس العصبي الأميركي روجر سييري أن أحاسيس متنافرة يتلقاها على التوالي الدماغان، الدماغ الأيمن والدماغ الأيسر يمكن أن نكون في آن معاً، لا شعورياً، مدركة ومعتزلاً بها، لكن مكبوتة، أي مرفوضة على سوية الوعي، عندما لا تتطابق مع الانطباعات المهيمنة لدى الذات^(١). والحالة هذه، لدينا في عقلنا، بنية تنخب الانطباعات الحسية (الحواسية)، ونقرر بشأن ملاءمتها،

(١) درس سييري في الأعوام ١٩٦٠ - ١٩٨٠، حالة عدة مرضى أجري لهم قطع للجسم الشفني جراحي، بفضل حزمة الألياف العصبية هذه ينتقل الإعلام بين الدماغين الأيمن والأيسر. كان هدف العملية تقليص أو حذف عودة نوبات الصرع المستعصية على المعالجات غير الجراحية. انظر، من أجل وصف هذه الأعمال والإستنتاجات التي يمكن أن تستخلص منها على الصعيد الفيزيولوجي النفسي، على سبيل المثال، شورشلاند، P.S. و 1986.

وتحولها على ما يحتمل بدون علمنا . إذ أن نكون واعين ، ليس وحسب أن نكون واعين للعالم المحيط بنا ، ولا أن يكون لدينا عنه تمثيل داخلي . فالأمر أيضاً وبخاصة هو أن ننظم وفي كل آن هذه الأحاسيس وفق تطلب الوحدة والتماسك الذي يتيح لنا أن نحسن أننا عين ذواتنا ، بفرديتنا ، في ملتقى طرق هذه الكيفيات الإدراكية . وأن نكون واعين ، هو في النهاية أن يتطلب واحدنا أن يكون واحداً في عالم واحد ، حتى لو كان ذلك لقاء تشويه غير قابل للمراقبة أو اصطفاء أكثر أو أقل صرامة للمعلومات الخام التي تزودنا بها حواسنا . أفلا يحق لنا والحالة هذه أن نشك بشهادة حواسنا المتعلقة بفرار الزمان؟

تعريف تمهيدي للزمان

كل أنواع العقبات تتهدد خطاباً عن الزمان . ونسياننا ما تدين به معرفتنا عن الزمان إلى عقلنا ، إلى ميكانيكيات الإدراك والذاكرة ، ربما يكون إحداها . غير أنه ، لا شيء يمنعنا من أن نصيغ في بداءة الأمر فرضية كون الزمان موجوداً بشكل مستقل عنا ، وكونه بعداً أساسياً من أبعاد الواقع . وإن عقبة أخرى ربما تكون في إرادتنا أن نمثل قبلياً ذلك الزمان بالسببية أو بالأنطروپيا ، المفهومين اللذين أعدهما العلم بالتعاقب من أجل فهم (وسؤال) وجهين مهمين للمفهوم الزماني الأولي . فهل إن هذين المفهومين ينطبقان على الطبيعة في ذاتها ، أو الأخرى على ملاحظتنا ، أي على الطبيعة التي سبق أن أخضعت لاستجواب اجهزتنا القياسية ، وفسرتها حواسنا ، وصنفت وفق مقولات مجردة؟ إلى ذلك ، إن كل مفهوم من هذين المفهومين بعرض على ما يحتمل وجهاً للزمان ، لكن ليس لكليته . وهذا هو الأمر الذي من أجله يجب أن يكون تعريف الزمان بما هو مفهوم أولي ، قدر المستطاع الأقل تشويهاً والأقل قسراً ، مع احتمال أن نمتحن بعد فوات الأوان ما إذا كان يصمد للمجابهة مع معطيات العلم الراهن .

إن تعريفاً للزمان ، ربما يمكن أن يكون التالي : الزمان هو درجة حرية باستخدامها تبقي الأشياء على هويتها ، في حين تتقل بطريقة معينة تدعى «مأل»

(المصير). وهذا تعريف نستطيع الحكم عليه حسب مزاجنا، أنه مبهم إلى حد بعيد أو على العكس أنه الآن جدّ جرسور. إنه، في الواقع، يقتضي أن نقبل واقعية فيزيائية من نوع ما، أي وجود أشياء (مواضيع) خارجاً منا. فرجال العلم جميعاً سوف يكونون من غير شك مثقفين على هذه النقطة. إذ كيف يمكن تغيير ذلك التخلص من الأنانية solipsisme. من هذا المذهب الذي وفقه لا شيء أكيد إن لم يكن إحساساتنا الذاتية ولا شيء يوجد خارجاً منها؟ والأنانية تبدو غير قادرة على شرح لماذا تبدو أحاسيسنا، في مواجهة تجربة مختبرة برفقة شهود آخرين، ذات قرابة كبيرة مع أحاسيس الآخرين.

إن تعريف الزمان المقدم أعلاه يتضمن أيضاً مفهوم درجة الحرية. وفي العلوم الفيزيائية يدعى درجة حرية منظومة كل مقدار (كبر) يتيح تمييز حالتها وقابل لأن يأخذ قيمة متغيرة. مثلاً، يستطيع جزيء يحتوي عليه وعاء أن يشغل مواقع مختلفة، ويمكن أن تكون سرعته موجهة في اتجاهات مختلفة وأن يأخذ قيمة شتى، بالنسبة لميقاتية مرجعية. طبعاً، الجزيء لا «يختار» دلالات الميقاتية، والحرية المفهومة على هذا الحال لا علاقة لها البتة بقرار حر من جانبه. في الحالة الخاصة بالزمان، ما يهم هو أن درجة الحرية هذه لا يمكن أن تختبر، في أي ظرف كان، إلا في اتجاه واحد، بتعبير آخر، الزمان موجه. وخارج الإمكانية المحسوسة لاختبار درجة الحرية هذه في الاتجاه المشار إليه، فالزمان لا يوجد والحالة هذه. يجب تجنب الإستهلال لسحر كلمات أولئك الذين يذكرون بعكس ممكن للزمان من مناطق خرافية من الكون نحو اللامتناهي في الكبر أو نحو اللامتناهي في الصغر. إن الزمان معرف تبعاً لسهمه. فإذا كانت حرية الأشياء الكامنة في أن تمضي نحو المستقبل غير موجودة، أو إذا عكست، فإننا لا نعود نستطيع أن نتحدث عن الزمان. قبل «الانفجار الكبير Big Bang» أو بعد «التقلص الكبير Big Crunch»، لم يكن قد وجد بعد أو ما عاد يوجد «أشياء» تستطيع أن تبقى على هويتها في حين تنتقل في الزمان. ولا نرى كيف ربما قد تستطيع صياغة خطاب عن الغياب الزماني الذي ربما سوف يكون، إذا صح القول، في الزمان. إن بعض جزئيات الفيزياء

النوعية، في تفاعلها المتبادل، تبدو خاضعة لقوانين غائبة، حتى أن بعض الفيزيائيين قالوا بصدددها أنها «ترجع القهقري في الزمان». وتبدو، هذ الصياغة التي تذكر بزمان «بالمقلوب»، بصريح العبارة، متناقضة، ولكي نصف الظواهر التي نحن بصدددها، فلا شك في أن الأفضل هو أن نستخدم مقولات أخرى غير مقولة الزمان، وأن نلجأ إلى توسيع ملائم لمقولة السببية.

الزمان، مفهوم دياكتيكي

مفهوم الزمان مفهوم معقد، بمعنى هذا النعت، بالمعنى الأول، هو معقد ما يستدعي أوجهاً متناقضة، بالمعنى الثاني، هو معقد ما هو مركب، ما يجعل عدداً كبيراً من العناصر تدخل في تفاعلات متبادلة.

لنفحص في بداءة الأمر الوجه المتناقض للزمان. فعندما نتحدث عنه، تستدعي خطاباتنا على الفور، بالتناوب أو معاً، مقولتي الدوام والتغير.

وفي لغات البشر جميعها، يوجد الدوام في قاعدة اختراع الأسماء. فما نسميه المواضيع (أشياء)، وما نسميه جسمنا، هي مفاهيم مجردة لوفرة أحاسيس آنية بما لها من مشترك. بيد أن العالم ليس سكونياً: فالكرة تتدحرج والنهر يجري والأمواج الصخابة تتكسر وتتدفق، والنجوم تتابع، والذرات تتفكك، والأجسام تشيخ. فحدس التغير ينضاف والحالة هذه إلى حدس الدوام. وليس، من جهة أخرى، مؤكداً، بأن لا يكون، في تجاربنا الأولى عن العالم الخارجي، التغير متغلباً على الدوام. ونحن نعرف منذ اكتشافات هوبل وقيزيل، أن بعض الخلايا في القشرة البصرية تكون جداً أكثر حساسية بالتنبهات المتغيرة وبالأشياء المتحركة، منها بالأشياء الساكنة^(١).

بشكل مواز لـ «ديالكتيك» الدوام والتغير هذا، ولد تطور العلم نموذجين زمنيين: **السببية والأنطروپيا**. فلندخلهما هنا لكي نؤكد جيداً على هذا التوازي.

(١) من المعلوم أن أعين، بعض الضفادع، البدائية نسبياً تكون غير قادرة على أن تحسن بذبابة صغيرة وهي واقفة لكنها ماهرة في تحديد موقعها وهي طائرة.

عندما اكتشف غاليليه الأهمية الأولية للزمان ، أعطى الدفع الحاسم للمغامرة العلمية لفك رموز لغة الطبيعة . إن إعداد العلم الكلاسيكي منذ عهد غاليليه ، بفضل نيوتن وموير تويس ولاغرونج وحتى أنشتاين ، كشف أحد الأسباب الأساسية لنجاح إدخال الزمان في النظرية الفيزيائية . فالزمان والمكان يكشفان معاً الحجاب عن مثال لتنظيم العالم المادي ذي قوة هائلة المثال السببي ، الذي يمت بصلة قربي وثيقة من مقولة الدوام . فمن جهة ، تُشتق السببية ، بالفعل ، من انخفاض الطاقة ، الكمية الثابتة بلا تغير في كل منظومة مغلقة . ومن جهة أخرى ، تدلّ على النقصان المحتوم ، نقصان الأشياء المحتوم ، غياب المفاجيء (غير المتوقع) . وهي في نهاية المطاف تنم عن التكافؤ المطلق بين الأسباب والمسببات ، بين المستقبل والحاضر .

لكن ، خلافاً لتأكيدات بعض مؤسسي مثال السببية الباته الأشد حمية ، فإن المثال السببي ومفاهيم المكان - زمان المرتبطة به لا تستنفذ كل غنى المفهوم الأصلي للزمان . ففي الواقع ، إنها تهمل حتى وجهه الأساسي : الصيرورة ، والشيخوخة ، وواقع كون الأشياء تسلك بثبات ومثابرة منحدر الأنطروپيا المتزايدة التي عرفها رودولف كلوزيوس .

إن الاعتراف بانعكاس الزمان - صيرورة هذا كمقوم أصيل للشروح العلمية يعود تاريخه إلى نهاية القرن الماضي ؛ وهو يشهد في هذه الأيام تطوراً شديداً . إنه في قاعدة تيرموديناميك السيروورات غير العكوسة وأخذ يُطبق أيضاً على علوم الحياة . في هذا المضمار ، يبدو الزمان موسوماً بسمة التعقيد . فعندما نسائل بواسطة أجهزتنا تصرف المواضيع (الأشياء) الطبيعية الأكثر بساطة ، الجزيئات الأولية ، والذرات ، والمنظومات المعزولة البسيطة ، لا يظهر سهم الزمان . فهو ، على العكس ، يتجلى في المنظومات الكبيرة (العيانية) التي تؤخذ بالإعتبار من وجهة نظر عملية من جانب التيرموديناميكا . وفي الوقت الراهن ، تظل النظرية الفيزيائية غير قادرة على شرح اللاعكوسية الزمانية ، إلا عند النهاية التي يتعذر بلوغها للمنظومات ذات القدّ (اللامتناهي في الكبر) اللامحدود .

هل إن الإنسان آلة لإدراك الزمان؟

تعلمنا الفلسفة وعلم النفس أن الإحساس بالزمان هو شرط أول (مقدم) لرؤيتنا المبنية للزمان. فهل إن حس الزمان خاص بالإنسان أم إنه بخاصة حاد لديه؟ هل يوجد فرق أساسي فيما يتعلق بهذه النقطة بين الإنسان والحيوانات؟ فإذا كان الزمان يوجد موضوعياً، وكان الإنسان يملك حدة خاصة بالنسبة لهذا البعد من أبعاد الطبيعة، فإن التذكير به يكتسي حينذاك شهامة مزدوجة: شهامة التحدث عن الإنسان، في الحين الذي نتحدث فيه عن العالم.

شدد العلم التجريبي على الإستمرارية الكبرى التي تسود في العالم الحي: فالجواهر (المواد) الكيماوية متطابقة أو جد متقاربة، والتنظيم الخلوي والبناء بشكل أعضاء امران متشابهان، فالخطة تكون في معظم الأحيان مماثلة. وتكشف لنا معطيات علم الإحاثات بأن المغامرة الإنسانية قد بدأت منذ عدة ملايين من السنين، عندما حصلت بعض التعديلات التشريحية (وضع الجمجمة على العمود الفقاري، غماء القشرة الدماغية وقشرة المخ)، متيحة أوضاعاً جديدة واكتساب ملكات جديدة، ملكة النطق بخاصة، وحددت المسافة المتزايدة تزايداً سريعاً بين جنس الإنسان والرئيسات الأخرى ومع ذلك، عندما يحاول علم النفس التجريبي وعلم الأخلاق أن يقيم، على صعيد السلوك والإستطاعات الدماغية، الاختلافات التي ولدتها هذه التعديلات التشريحية الأصغرية، فإن ما يلفت الإنتباه هو عظم نتائج هذه التغيرات الضعيفة. إن انجازات حيوانات في عمليات روز تستعمل استطاعتها الإستباقية تكون هزيلة جداً، منذ أن تتجاوز الأدوار الزمانية المتضمنة عدة دقائق ولا يستبعد أن يكون الإنسان قد اجتاز عتبة وأن تكون كفاءاته قد نتجت عن قفزة نوعية، لكن طبيعة هذه العتبة تظل معتمدة جداً إلى الآن.

في تطلب الوحدة نفسه الذي يميز الوعي الإنساني، بغض النظر عن الحدس النفساني للزمان المعاش، توجد مسألة الزمان. فرؤية مشهد وسماع ضجيج ومس شيء (موضوع) تتطلب مهلة زمانية من أجل أن تكون مدركة إدراكاً واعياً. في

الحالة الخام، يكون الإدراك النفساني والحالة هذه مكوناً من متوالية ممزقة قطعاً: فالزمان النفساني مقطع. لكن هذه المعطيات المختلفة تحتاج، على سوية وعي أعلى، أن تكون مكاملة من جديد من أجل إتاحة تمثيل مستمر ومتناغم للذات وللعالَم. ربما سوف يكون ممتنعاً بدون ذلك أن تعاد في فكرنا استمرارية الزمان، اللازمة لوجود الحركة ولتفسير العالم وفق مثل فزيائية على غرار السببية. وعلى المدى الأطول، تظهر وظيفة التكامل الزماني هذه أكثر أهمية أيضاً: الأنا مؤسسة على اليقين الحميم بأننا سوف نبقى على هويتنا لا في اللحظة المقبلة وحسب بل وفي وقت لاحق أيضاً، غداً، أو بعد عدة سنين، ويكون هذا الوعي الحاد للزمان في مركبته البعيدة قوتنا وفاجعتنا. «وحده لا ريب، من بين الحيوانات، الإنسان، يستطيع أن يتساءل عما سوف يفعله غداً». هاك، بلا ريب، صيغة مقتضبة لتعريف نوعية العقل البشري. من هذا القبيل، تصور الزمان هو ملكة إنسانية للغاية. والزمان ليس حتى من أجل هذا محض اختراع من اختراعات العقل.

* * *

الجزء الأول

من أين تأتي أفكارنا عن الزمان؟

الفصل الأول

اسطورة العود السرمدي وفكرة التقدم

إن علم الإحاطة لا يستطيع أن يجعلنا نعيش أفكار ومخاوف البشر الأوائل بدقة، فهؤلاء البشر الأوائل كانوا قد أخذوا يطرحون على أنفسهم بلا شك أسئلة عن الزمان في النطاق الذي كان فيه امتداد الفكر في البعد الزماني هو بدقة إحدى مميزات الأنسنة. «الإنسان، كما ورد في التوراة، رأى أنه قد كان عرياناً». ونستطيع أن نطبق هذا النص المجازي على الوظيفة الزمانية وأن نتصور الإنسان وقد أصيب بدوار بفعل وضوح التدفق الكبير الذي يعدل باستمرار رؤيته للأشياء. وحيث كان عاجزاً عن أن يقرر ما إذا كان الأمرُ أمراً استحالته دائمة للعالم الذي يلاحظه عقله الثابت، أو أمرٌ مسارٍ مجرد لعقل متغير في ديكور ثابت بلا تغيير، فقد حاول التشبث بنقطة ثابتة، بيقين ما، بمعلم ما صلب يتيح له أن يعتقد أن دوامه الذاتي ليس وهماً. ويسهل علينا أن ندرك السكينة التي تمكن أن يشعر بها وهو يكتشف، في وسط التجارب اليومية المتغيرة، وجود بعض التكرارات كدقات النض، وتعاقب النهار والليل، وعودة الفصول. فهذه التجارب المتكررة، التي تحددها دورة أو إيقاع، وجب أن تعدّ من بين التجارب البدائية المطمئنة.

وبديهي، أن هذه الدورات أو هذه الإيقاعات تمنح الحوادث المقترنة بها كيفية جديدة تكسب اللاعكوسية طابع التسامي وتمنح الحوادث طابع الاستقرار والدوام. فهي (الدورات والإيقاعات) صخور شاطئ الهوية التي تبرز فوق التغيير. وهي تفتح إمكانية المقارنة، كما تفتح إمكانية تعريف قابل للقياس قابل للتواصل، أي تعريف للزمان.

في غضون بناء الثقافة الكلاسيكية ، دُعيت الدورات والإيقاعات للقيام بدور أيضاً أهم . فبتوسطها ، جعل الزمان ، وهو الصفة المقترنة بالإدراكات وبالحوادث العابرة ، من نفسه أسطورة أو شخصاً . وحينذاك صار الزمان - الإله .

دور الدورات والطقوس الاجتماعي

كانت الدورات والإيقاعات هي الأدوات ، وهي المتوسطات في الإتصال المتبادل وفي مشرّكة الزمان . وقد تم تخطي هذه المرحلة الأولى بسرعة باستعمال الطقس ، الذي هو التعبير الاجتماعي عن الإيقاع والدورة . فالطقس وسم وسمّاً عميقاً الأشكال الأولى لتنظيم المجتمع الزماني . فمنذ العصور القديمة إلى العصور الوسطى شكلت ضرورة ضبط الأوقات الطقسية وساعات (مواعيد) الصلاة دوافع قوية لملاحظة النجوم وإعداد جداول فلكية .

مع ذلك ، كان للزمان الطقسي السيئة الكبرى سيئة إدخال ساعات غير متساوية . وشيئاً فشيئاً ، أتاحت احتياجات التنظيمات المدنية والإنتاج الاقتصادي ، وكذلك التقدمات التقنية (بناء ميقاتيات أكثر فأكثر انتظاماً ودقة) أن يُخترع ، في بدايات القرون الوسطى ، ثم أن يفرض ، زمان مدني اليوم فيه مقسم إلى ٢٤ ساعة متساوية . وأتيح بعد ذلك تقسيم هذه الساعات المتساوية إلى أجزاء أصغر فأصغر ، إلى دقائق ، وثواني ، إلخ . .

وكلما كانت الضرورات الدينية تتيح مشرّكة للزمان ، في الوقت الذي كان فيه هذا المفهوم يشيع لخدمة حاجات الحياة الاجتماعية ، كان الفلاسفة ينجزون خطوة جديدة حاسمة . وبفتحهم دائرة الزمان وتخطيطهم هيمنة الدورة ، أحلوا محلّه زماناً مفتوحاً ، متدرجاً وخطياً . وفي هذا النموذج الجديد ، كان الزمان يستطيع أن يسترد مزايا اللاعكوسية والصيرورة الدائمة التي كان النموذج القديم قد جرده منها . وقد تغلب الزمان الخطي بسهولة . وهو لا يزال يشكل أساس عالمنا الثقافي ، الأقرب إلى المفاهيم المألوفة المكائنية والمسافية والمتطابق جيداً مع الشعور الحميم بجريان الزمان .

هذا التحول تم معظمه في ظل جمهورية أثينا . ففي اليونان القديمة كان العالم الثقافي كالتنظيم العملي يوحيان نموذجاً دائرياً للطبيعة ونموذجاً دورياً للزمان . وقد أظهر جون-بيير فيرنان ، في كتابه أسطورة وفكر عند اليونان ، القوة المدهشة لاسطورة الدائرية هذه ، التي كانت تمارس سيطرتها في المكان كما في الزمان . ففي المكان كانت تفرض تنظيم المدينة الدائري حول الساحة العامة . وفي الزمان كانت تعتمد على عود النهار والليل السرمدي وعلى تعاقب الفصول المنتظم .

سبق أن وجدت هذه الفكرة في قصائد هيزيود ، في القرن الثامن قبل الميلاد ، التي تُشيد بالتصور الدوري للزمان المتصل اتصالاً حميماً بالأعمال الزراعية ، وقد جعل منه منظومة إفلاطون ، معلم أرسطو المباشر ونموذج الفلسفة الغربية المُحتذى في التفكير . فلدى إفلاطون ، يوجد أصل اسطورة الدائرية في حركة كرة السماء المرصعة بالنجوم الظاهرية . فهذه الحركة الدائمة الحضور لكنها منيعة تشهد على ماهية العالم الحقيقية التي لا تتكون من مواضيع (أشياء) عرضة للتلف بل من مثل (أو أشكال) خالدة . لا ريب في أن حركة القبة السماوية المحتومة ليست هي الخلود ، بل دليلاً على الخلود . كتب إفلاطون في حوارية تيميه Timée : « طبيعة الموجود المثالي خالدة ولا نهاية لها ، بيد أن منح هذا النعت بكامل بهائه لخليقة كان أمراً ممتنعاً . وهذا هو السبب الذي من أجله صنع بديع الكون (الخالق) ، وقد صمم على أن يمتلك صورة متحركة للخلود عندما رتب السماوات ، هذه الصورة الخالدة لكنها متحركة طبقاً لأعداد في حين أن الخلود في ذاته يظل وحدة . وهذه الصورة ، ندعوها الزمان » .

لا نستطيع أن نستلقت الإنتباه بقوة أكبر إلى الحبل السري الذي يربط الزمان المعتبر ذاتاً قابله للقياس بضده ، بنفي اللاعكوسية الذي تؤلفه أسطورة العود السرمدي . لكوننا مجردين من معرفة الأشياء الكاملة كالخلود ، فإننا لا نستطيع أن ندرك الصيرورة إلا بوساطة الدورات ، بعدها ، ولا نستطيع أن نتصور الخلود إلا بوساطة التغير ، ولكوننا مطلعين بوساطة هذه الإشارات المحسوسة التي ليست سوى ظلال الأشياء الحقيقية ، علينا ، من أجل التوصل إلى معرفة الحقيقة ، أن

نتخلى عن هذه الإشارات الخداعة ، وأن تتعلق بعالم المثل الأكيدة والخالدة والتي ليست الأشياء المحسوسة غير انعكاس لها .

بالطبع ، إن العالم الحديث رفض هذه المثالية الإفلاطونية التي توهن العزم على كل مقاربة علمية . إلا أن نسيان هذه البداية المفارقة للزمان القابل للقياس التي سبق أن كان يلفت الإنتباه إليها أفلاطون قد يسيء إلى فهم المفاهيم الحديثة المتعلقة بالزمان . ولكي ندرك فرار الزمان في تدفقه ، نفتت ونعدّ دورات ، كل دورة منها تكون كتحديث للزمان . إن مقاييس الزمان هي دورات لا صيرورة لها ، وهي نقيض الزمان ، إذا صح القول .

الزمان والحركة عند أرسطو

لعل أرسطو قد أراد بسبب هذه المفارقة أن يمنح الزمان قانوناً آخر ، بتحريره إياه من بداية مغلوطة إلى هذا الحد . إن قبة أفلاطون المرصعة بالنجوم ليست لا الزمان ولا انعكاس الزمان ، بل هي انعكاس اللا-زمان بعينه . فالنجوم لا تنتمي إلى هذا العالم ؛ فهي غير خاضعة لقانون التغير القاسي ؛ إنها تنتمي إلى عالم الكمال والخلود ، وجوهرها لا يتحمل الفساد . إن الحركة الدائرية المنتظمة ، التي تولد الدورات ، لا تنتمي إلى الزمان بل إلى الخلود ، وبفضل عودتها السرمدية ، نستطيع أن نرى النجوم المرصعة في الخلود .

يصعب تصور الجهد التجريدي الذي وجب على أرسطو أن يبذله من أجل الفصل بين الزمان والدائرية ، والبحث ، بفضل الحركة ، عن أساس جديد لمفهوم الزمان . كان ، في جمهورية أثينا ، كل شيء يقود إلى الدائرة وإلى الدورة ، شكلي المكان والزمان الكاملين . لقد وجب التملص من هذه النماذج المألوفة من أجل تأكيد أن عالم الحاضرات والبشر ، حتى وبما في ذلك القمر ، كان يخضع لمعايير أخرى ، لقوى أخرى لم يكن يلفت الإنتباه إليها أحد .

بعدئذ بزمان طويل ، وجد من جديد سعي تجديدي مماثل للسعي الذي قام به أرسطو ، لدى غاليليه ومن أنجز من خلفائه نص قانون العطالة ، عندما حاولوا أن

يغضوا النظر عن الثقالة الأرضية من أجل أن يدركوا ماهية العطالة. وفي الحقيقة، لم ينجح غاليليه نفسه في ذلك إلا بشكل غير تام. ففي رأيه، تتابع كرة تتدحرج على مستوٍ أفقي ممتد إلى ما لا نهاية، حركتها بلا نهاية. بيد أن المستوي الأفقي اللامتناهي يقابل، حسب رأيه، غلاف الأرض الكروي عند الارتفاع المعتبر. وفقط التجريد التام من الثقالة، ذهنياً، يستطيع أن يتيح نص قانون العطالة الصحيح. وهذا التجريد الذي أعد خطوطه الأولى غاليليه لم يكتمل إلا على يد من تبعوه، غاسوندي وديكارت، كما أثبت ذلك ألكسندر كوارى. ونادرة هي في تاريخ الأفكار، هذه اللحظات الهامة التي فيها يجب، من أجل التخلص من تناقض، أن يرفض تسلسل الأفكار القديم والإقدام على اقتراح منابع جديدة لمفاهيم مألوفة.

لكن ما هي والحالة هذه مقارنة الزمان المحررة من الدائرية التي اقترحها أرسطو؟ إن نقطة انطلاق تفكيره تعتمد على تجربة الحركة، فالحركة بما هي حدث خام وإدراك حسي مباشر، لا يمكن أن تكون مقاسة. لكننا نستطيع أن نبني، انطلاقاً من تجربة الحركة، مفهوماً زمانياً يكون مقداراً قابلاً للقياس. ففي الواقع، نقيس بفضل الحركة الزمان بالطريقة التي نقيس بها المكان، بالمسافة المقطوعة. فثم يوجد كل برنامج الميكانيك الكلاسيكي، الذي اكملته تماماً أعمال غاليليه وبارو ونيوتن. بيد أن رشيমে يوجد في شكل فكر أرسطو، الذي سبق أن كان قريباً من الفيزياء الحديثة، وفي شكل قطيعة مع فكر إفلاطون الأسطوري.

أكد أرسطو في بداية الأمر أن الزمان والحركة مفهومان بينهما صلة قريبي لكنهما متغايران. فالزمان ليس هو الحركة، «بل شيء ما من الحركة». فالحركة توجد في المتحرك في حين أن الزمان موجود في كل مكان ومتماثل وفي كل شيء من الأشياء. زد على ذلك، أن الحركة يمكن أن تكون أسرع أو أبطأ، في حين أن الزمان يمضي دائماً بشكل منتظم.

لكن، يضاف إلى ذلك، أن الزمان والحركة ينطويان معاً على بعض الخواص: فهما الإثنان مستمران ومتتابعان. فاستمرار الحركة ينجم عن استمرار المكان، من قابليته للإنقسام إلى ما لا نهاية. واستمرار الحركة يسبب بدوره استمرار

الزمان، لأننا لا نستطيع، بدون استمرار الزمان، أن نتصور الحركة؛ وهذا هو ما تثبته أمثال زينون الإيلي. يوجد والحالة هذه، حسب رأي أرسطو، علاقة بين استمرار المكان واستمرار الحركة واستمرار الزمان.

يضاف إلى ذلك، أن الزمان متتابع، أي أنه في كل لحظة يتكرر متجدداً، كالحركة. وقد شدد أرسطو على التمييز بين **القبل والبعد**، بين برهتين، بين شكلين للحركة، مرتين حسب السابق واللاحق، شيء ما دعاه زمان مرّ: من ثم يأتي التعريف الذي قدمه للزمان: «عدد الحركة حسب السابق واللاحق»، فالأمر هو والحالة هذه أمر زمان رياضي وموضوعي يرتب برهتين متابعتين ويتيح، تدريجياً، ترقيم تتابع برّه وفق متوالية أعدادٍ متزايدة.

وعليّنا أن نلفت الانتباه إلى أن أرسطو لم يدع، في هذه المقاربة من أجل مفهومة الزمان، أي موضع للإهتمامات التقنية، إنه لا يطرح مسألة قياس واقعي للزمان. إنه، كمنظر، اكتشف وسيلة تعريف الزمان بما هو مقدار قابل للعدّ، لكنه تحاشى في هذا التعريف التحدث عن الزمان (الوقت) بما هو مقدار قابل للقياس، إذ يجب من أجل ذلك الاستعانة بدورات، غير أنه قام بذلك، في مرحلة ثانية، بعد أن كان قد أكد، أنه خلافاً للمظاهر، عندما تكون دورة قد مرت، وتكون الأشياء جميعها قد عادت إلى الموضع نفسه، يكون الزمان قد تغير.

على هذا الحال، يكون الزمان بالنسبة لأرسطو، مفهوماً جعله ضرورياً واقع الحركة. وهذا هو العدد، أي المرجع، محور الإحداثيات الذي يجب أن تنسب إليه الحركة، بطريقة مماثلة للمكان الذي يكون المرجع، أو جملة المحاور الإحداثية، التي ننسب إليها الإمتداد. وفي ذلك، سبق أن اقتربت أفكار أرسطو بشكل فذ من أفكار فيزيائيين مثل غاليليه ونيوتن وديكارت. حتى أنها تذكر، من بعض النواحي، بمواقف كانط حول المقولات القبلية. وعليّنا مع ذلك أن لا نبالغ حتى من أجل هذا بحداثة الزمان الأرسطو طاليسي. إنه، بالنسبة لنا، حطم الدورات المحتومة وجعلنا نفلت من لعنة العود السرمدية. إلا أن الفيزياء الكلاسيكية احتاجت إلى انتظار ١٩

قرناً كي تتوصل إلى تصور «زمان مطلق، حقيقي ورياضي»، إلى محور أحداثيات شبيه بالمحاور المكانية، مفتوح على اللانهايات.

إن الجهد التجريدي الأعظم الذي أنجزه أرسطو يحمل في ذاته حدوده الذاتية. فمهومه عن الزمان رياضي، لكنه مجرد بشكل رهيب. واللحظة التي يكرس لها عروضاً مطولة، مفهومة كحد رياضي بين القبل والبعد، بين الماضي والمستقبل، وهو لم يختبر بشكل واقعي بلوغ هذا الحد، ولا ريب بأن ذلك كان بسبب قلة دقة أجهزة ذلك الزمان (ساعة مائية، ساعة رملية، ساعة شمسية). وبخاصة، لم يختبر أرسطو العلاقات بين هذا الحد الزماني الذي هو اللحظة والحركة. فالفكرة التي كونها لنفسه عن السرعة هي، بعد كل اعتبار، فقيرة أشد الفقر، وهو يميز، في تعليمه كما في كتاباته، بين الحركات السريعة والحركات البطيئة. وقد عرف مفهوم السرعة المنتظمة، لكنه لم يعرف مفهوم السرعة الآنية.

إن أرسطو أتاح مع ذلك، بفتحة دائرة الزمان، انطلاق المفهوم الزماني الحديث، مفهوم زمان إنساني، وتاريخي، منسوب للتجربة الإنسانية عن الحركة وعن فرار الزمان المعاش الذي لا نهاية له. وقد تصدى هو نفسه للمسألة: فقد أعلن، «إن العلاقة بين الزمان والوعي تستحق أن نتفحصها». «... وإذا لم يكن شيء يستطيع أن يعدّ غير الوعي، والوعي وحسب بما هو ذكاء (وليس وحسب بما هو إحساس)، حينذاك يكون ممتنعاً أن يستطيع الزمان أن يوجد بدون الوعي... إلا إذا لم يكن سوى الشيء الموضوعي الذي ندعوه بطريقة ذاتية الزمان، بمقدار ما نستطيع افتراض أن الحركة ربما تستطيع بهذا الشكل أن توجد موضوعياً دون أن يوجد أي وعي». إن هذه التفصيلات الجادة تظهر أن أرسطو كلن يعي العلاقة المتينة بين الزمان الفيزيائي والمدة المعاشة. من جهة أخرى، تخضع، في عالم التغير، الأشياء كالبشر لمصير، ولا غرابة، من هذه الزواية، في أن يكون التمييز بين عالم ما تحت القمر (الأرض) وعالم ما فوق القمر يفرض نفسه بقوة شديدة: إنه يعارض كمال عالم ما فوق القمر السكوني أو الدوري، بعالم التغير أو الصيرورة لعالم ما تحت القمر (الأرض). إن الزمان الحقيقي هو زمان العالم المتغير الذي يوجد تحت

القمر ، وهو عالم غير مستقر وفيه يحاول كل شيء ، بلا كلل ، أن يرجع بوساطة الحركة إلى الموضع (الموقع) الذي عينه له القدر^(١) .

سبق أن كان الزمان الأرسطو طاليسي والحالة هذه يحدد المميزات الرئيسية التي نحن راغبون بأن نعزوها اليوم إلى هذا المفهوم : ولكون الزمان متسخاً عن زمان الوعي فيما يتعلق بقابليته للعد (إذن «متجهته» ، فهو داخل في دائرة اختصاص الفيزياء بطابعه المزدوج (بسمته المزدوجة) من حيث الحركة والصيرورة. **لكن ألم يسبق لأرسطو أن كان يمثل نفسه ، كما فعل بعده نيوتن ، على أنه مماثل للمكان ، على أنه محور إحداثيات ، على أنه خط مستقيم يجري من ناقص لا نهاية إلى زائد لا نهاية ؟ ربما يكون الأمر ، حقاً ، أن يعزى لمحطم الأصنام هذا أكثر مما كان هو نفسه يستطيع أن يقدم ، وحتى أكثر مما استطاع أن يقدم متابعوه شارحوه ووسطاؤه الذين كانوا هم كبار الفيزيائيين العرب ، الذين من بينهم ابن سينا (الذي اقتربت تصوراته عن الزمان بالأحرى من تصورات إفلاطون) والغزالي .**

كان العامل الحاسم في هذا النضال بين دورة وصيرورة لا نهاية لها على ما يحتمل ، كما قد اقترح هويترو ذلك ، هو مجيء المسيحية ومفاهيم تاريخية حول الفداء والخلاص الشخصي ، اللذين هما غير قابلين لأن يكونا متوافقين مع اسطورة العود السرمدى . فالقديس أوغسطين ، مهما بلغ من انتمائه للأفلاطونية الجديدة ، ألم يكن هو من كتب في مؤلفه «مدينة الله» : «فقط في المذهب العميق الخاص بالزمان المستقيم نستطيع الإفلات من هذه المذاهب المتعلقة بما لا أدري أية دورات اقترحها حكماء متطرفون وخداعون . . .» . وقد عاد هيرفي بارو فروى بالتفصيل

(١) التمييز بين عالمي ما فوق وما تحت القمر حدد بالتأكيد تقدماً ، من وجهة نظر ظهور مفهوم الزمان الفيزيائي ، لأن حركة الكرات السماوية الكاملة التي كان الفلاسفة الأقدمون يكتفون بها لم تكن تعدّهم ، بأي شكل من الأشكال ، لا قبل أرسطو ولا بعده ، لإدراك أهمية مبدأ العطالة ، الذي هو الوسيلة الصحيحة الوحيدة لإرجاع الزمان إلى مقدار فيزيائي قابل للقياس (وليس فقط قابل للعد ، كما هو الأمر لدى أرسطو) . بحركة للفكر عكسية ، استخدم نيوتن بعد ذلك بزمن طويل ، بالصبط ، قانون العطالة ، الذي بنى مبدئياً بفضل دراسة الحركات المادية ، من أجل شرح الحركات السماوية .

تاريخ النضوج البطيء لفكرة الزمان الخطي، نضوج عبر من خلال كتابات الفلاسفة العرب وفلاسفة القرون الوسطى الذين نقلوا مذهب أرسطو إلى عصر النهضة؛ من خلال كتابات ابن رشد، الذي كان لا يزال يرفض، على ما يبدو، من على منبره في قرطبة في أوج القرن الثاني عشر، تمثيل الزمان بخط مستقيم؛ ومن خلال كتابات توماس الأكويني الذي وفق في النهاية، بعد ذلك بقرن، بين الأرسطو طاليسية والمسيحية، ولم يظهر مفهوم الزمان الخطي المستقيم والممتد إلى ما لا نهاية والشبيه بالمكان، أخيراً، إلا بقلم جون لوك عام ١٦٩٠: «يوجد مع ذلك هذا الاختلاف البادي للعيان بين المكان والزمان القائل بأن الأفكار الطولية التي لدينا عن التوسع (المكاني) يمكن أن تدور في جميع الاتجاهات، وهي بهذا الشكل ما ندعوه شكلاً، عرضاً وسمكاً؛ بدلاً من أن لا يكون الزمان إلا كطول يستمر إلى ما لا نهاية في خط مستقيم...» صحيح، أن غاليليه ونيوتن كانا قد سبق لهما أن أفشيا اكتشافاتهما للعالم. ومع ذلك، كان الفيلسوف العربي ابن ميمون يعلم في قرطبة، قبل أنشتاين بزمان طويل جداً، تبعاً لحُدس ومأض وندير، في القرن الثاني عشر، بأن الزمان ما هو غير تجلي المادة، وبأنه لم يكن موجوداً قبلها!

* * *

الفصل الثاني

اختراع مفهوم السرعة الآنية

رغم فتح دائرة الزمان، بقي الزمان في القرون الوسطى خاضعاً للدورات إلى حد لا يستطيع معه توليد الميكانيك الحديث : لم تكن الفجوة بين اللحظة، التي هي حد تجريدي بين الماقبل والمابعد، وبين انتظام الحركة الدورية، ممكناً ردمها بسهولة، ولا شك في أن لا شيء يوضح هذه الصعوبة إيضاحاً أفضل من دراسة استيعادية لنشأة مفهوم السرعة.

إن السرعة الآنية هي، بالنسبة لإنسان القرن العشرين، مفهوم مألوف، يكاد أن يكون مباشراً، يجعله ملموساً عداد سيارته. وهذا الطابع المألوف عائد في معظمه إلى طريقة الحياة الحديثة، إلى الدور الذي تمثله في مشاغلنا وسائط النقل الإصطناعية والنضال الدائم الذي نخوضه ضد الزمان الضائع. وقد اعتقد بعض علماء النفس، المنخدعين على ما يحتمل بهذه الحالات الخاصة، أنهم يرون في السرعة مفهوماً حتى أكثر بدائية من مفهوم الزمان، إلى حد أن أحدهما ربما يكون مشتقاً من الآخر في أثناء نماء الطفل : « فنحن لا نرى ولا ندرك الزمان أبداً على هذا الحال، إذ، أنه على عكس المكان أو السرعة، لا يقع تحت الحواس ». وهذا الإستنتاج، المستخلص من دراسة حول تطور الأطفال النفساني في الحضارة المعاصرة، لم تؤكد دراسة تطور مفهوم السرعة في غضون تاريخ العلوم. فهذا التطور، على النقيض من ذلك، يظهر أن اكتساب هذا المفهوم في معناه الحديث كان عسيراً وشاقاً.

لنذكر بأن السرعة هي معلم (ثابتة parametre) مجرد نقرنه بمتحرك معين من أجل وصف حالته الحركية في لحظة معينة على مساره . وتكون معرفته فيزيائياً على أنها النهاية، بالنسبة لفواصل زمانية تتناهي إلى الصفر، نهاية النسبة بين المكان (المسافة) المقطوع والزمان اللازم لقطعه (المستغرق في قطعه) . ولكي نفهم ذلك فهماً تاماً علينا أن نسلّم بإمكانية تقسيم المسافة المقطوعة خلال الزمان المستغرق في قطعها . والحال هو أن المدة والمسافة هما مقداران لا قياس مشترك لهما من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية . وقد لزم والحالة هذه إدخال مقدار جديد، من طبيعة أخرى غير طبيعة الطول والزمان . كما وجب أيضاً أن تقلل بالتدريج الفواصل المقاسة أو التخيلة إلى أطوال لا متناهية في الصغر . وقد احتاج الأمر، من أجل ذلك، إلى أن نفهم ونناقش مفهوم اللحظة في علاقاتها بالزمان .

طبيعة اللحظة

يقتضي إدراك كل مدة أن نتفحص شريحة زمانية معاشة، بحيث تقارن في الذاكرة الأوضاع النهائية والابتدائية، ومن ثم تأتي صعوبة التسليم بفكرة فاصلة زمانية تتناهي إلى الصفر . مع ذلك، وضح برغسون نوعية الزمان الواعي بالنسبة للمكان : الحاضر يحتوي الماضي في حين أن نقطة من خط مكاني لا تحتوي أية نقطة أو نقاط تسبقها . وإلى الآن ما زال بعض الفلاسفة والإبيستيمولوجيين يقترحون بانتظام إدخال ذرية زمان . . . وتبدو هذه الفواصل الزمانية واللحظات الرياضية من طبيعتين مختلفتين اختلافاً نهائياً، وحتى متعارضتين . من وجهة النظر هذه، يمكن أن يبدو البرنامج الإبيستيمولوجي المرتكز على استنتاج اللحظات الرياضية من الفواصل الزمانية بانتقال إلى النهاية الحدية مشروعاً غير لائق . لقد كان المشروع كذلك بالتأكيد في نظر القدماء، لا سيما وأن أجهزة قياسهم للزمان، ساعة شمسية، ساعة مائية، ساعة رملية، نادراً ما كانت مصنوعة من أجل قياس فواصل قصيرة، بل الأخرى من أجل إدراك مرور الساعات والنهار والليل بهدوء .

إن صعوبة تصور السرعة الآنية، مقترنة بغياب تقنيات لقياس الوقت ملائمة، قد كانت أسباباً عظمت لركود النظرية الفيزيائية في الفترة الممتدة ما بين العهود القديمة وعصر النهضة. وقد وجب، من أجل التغلب على هذه الصعوبة، في فترة زمنية أولى الإستعانة بحيلة: أن نستبدل، في كل مرة يكون فيها ذلك ممكناً، الحركة الواقعية ذات السرعة المتغيرة، بحركة مثالية ذات سرعة ثابتة، لكنها مكافئة للسرعة الواقعية، بالنسبة للمسألة المطروحة. ويظهر تاريخ الفيزياء قبل غاليليه وحتى عهده ذلك بوضوح: ففي اتجاه هذه الحيلة استطاع فيزيائيو العصور الوسطى وعصر النهضة بالتدريج أن يتصدوا، بعد قرون من الخضوع للتقاليد الأرسطوطاليسية، لدراسة حركات ذات سرع متغيرة ولدراسة سقوط الأجسام.

تحليل الحركات الفيزيائية

ناقش أرسطو، في خطابه الخاص بالفيزياء، الشروط التي يوجد فيها جسم في حالة حركة. وقد ميز بين الحركات الطبيعية (التي تسببها الثقالة) وبين الحركات العنيفة (التي ينتجها أو يبدلها قوة تسلط على الجسم)، وجد في دحض حجج ومحاکمات مريدي ديموقريطس الذين يرون أن إمكانية الحركة تتطلب وجود الخلاء. ميز أرسطو بين حركات سريعة وحركات بطيئة. بيد أنه لم يقطع الحركة ولم يحللها: إنه نظر إليها ككل، من ثم جاء الطابع المحدود لمفاهيمه حول السرعة.

سلم أرسطو، وهو يتفحص سقوط الأجسام، بأن سرعة جسم يسقط سقوطاً حراً لا تتعلق إلا بوزنه وبمقاومة الوسط. فهي والحالة هذه ثابتة حركة سقوط هذا الجسم، على الأقل ما دام هذا الجسم ينتشر في الوسط نفسه. وهذا الثابت مرتبط بشروط التجربة: وهو ينتمي في آن معاً إلى المتحرك وإلى الوسط الذي يجتازه. بخاصة بالنسبة لوسط معين، لا تتوقف سرعة الحركة الطبيعية

لجسم ، التي تقيس نزوعه الطبيعي إلى اللحاق بالموقع الذي يتطلبه تناغم العالم ، إلا على الجسم المعتبر . وهي تشكل مميزاً للجسم (كالكثله) ، وليس متغيراً حركياً^(١) .

إن السرعة التي عدت ثابتة حركة أثرت بالتأكيد على علماء الفلك اليونانيين ، وبخاصة بطليموس ، حين صاغ نظرية أفلاك التدوير Epicycles : إن ظاهر حركة الكواكب غير المنتظم ما كان يستطيع أن يكون غير نتيجة تركيب عدة حركات دائرية ، كل واحدة منها تتم بسرعة ثابتة ، بهذا الشكل ، أمكن لقاعدة الإنتظام ، بطريقة من الطرق ، أن تنجو . كان يكفي أن تؤخذ بالحسبان عدة حركات منتظمة : حركة الكوكب على فلك تدويره ، حركة الكرة التي تحمل مركز فلك التدوير ، إلخ .

ويجب على ما يحتمل أن يعزى الحدس الأول للسرعة على أنها متغير حركي إلى غليوم دوكام ، الذي تساءل في حوالي عام ١٣٢٠ عن المسافة التي سوف يقطعها متحرك خلال زمان معين ، لو تركنا الحركة تستمر دون تبدل . مهما يكن من

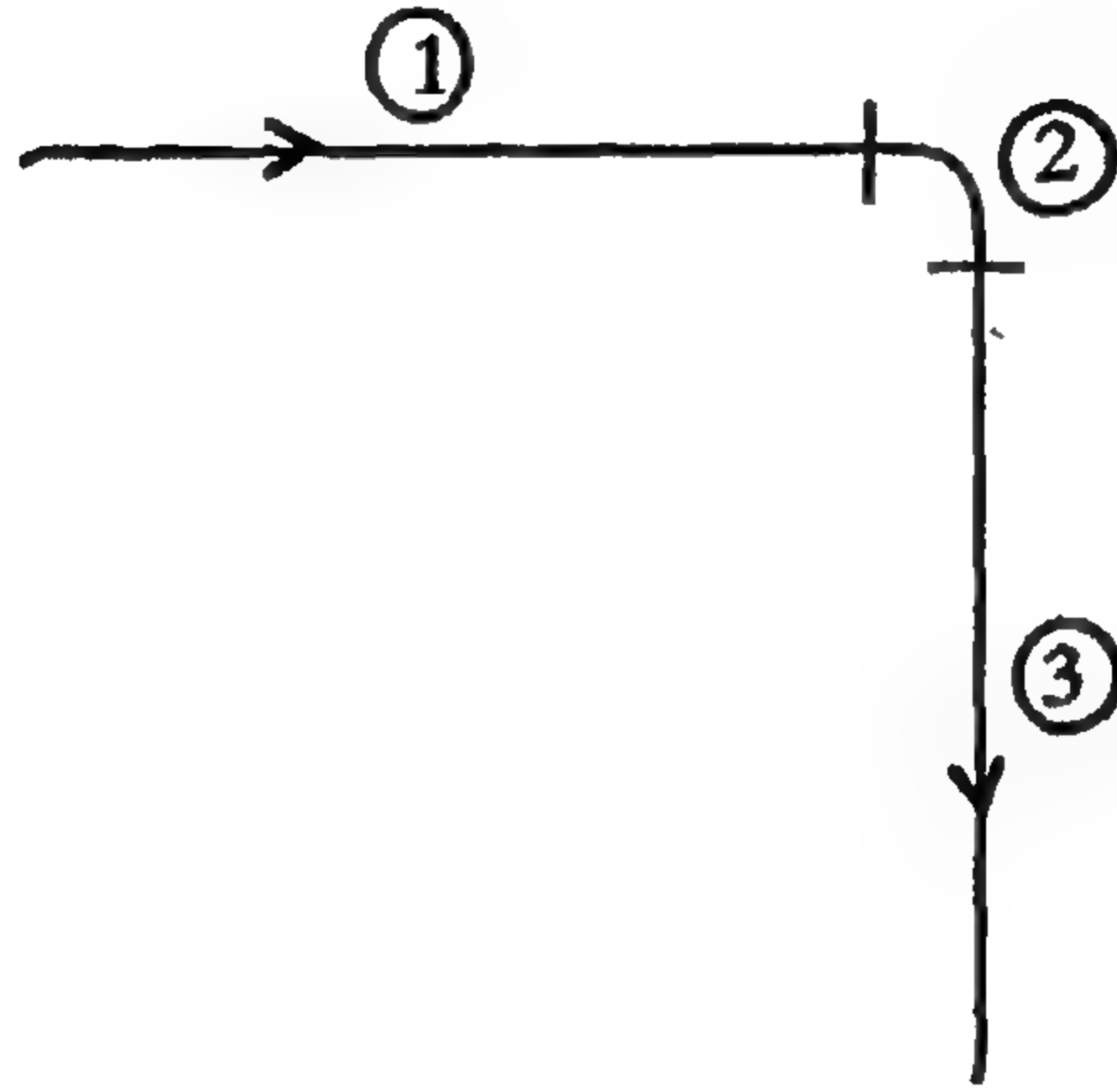
(١) إن تاريخ الديناميكا في فيزياء العصور القديمة والوسطى مروي في كتاب كرومبي (١٩٥٩) . والقانون الذي طرحه أرسطو من أجل شرح الاختلاف السرعي بين شتى الحركات هو التالي : كلما كان الجسم ثقيلاً أو كلما كانت القوة المطبقة عليه كبيرة كلما كان قطعه لمسافة معينة أسرع . أضف إلى ذلك ، كلما كبرت مقاومة الوسط الذي يجتازه الجسم ، كلما كانت سرعته أبطأ . ويتعاير رياضياً حديثة نكتب $s \propto (v/m)$. السرعة s متناسبة طردياً مع القوة Q وعكساً مع مقاومة الوسط m وك هو ثابت التناسب . طبعاً ، إن أرسطو لم يكتب هذه المعادلة ، إذ بالنسبة له كما بالنسبة لجميع اليونانيين ، كان حساب النسبة بين مقدارين لا قياس مشترك بينهما لا معنى له ، كما هو الحال بالنسبة للـ «قوة» والـ «مقاومة» . للسبب نفسه ، لم يكن يستطيع أن يكتب السرعة كنسبة بين المسافة المقطوعة والزمن اللازم لقطعها .

فيما بعد ، عدل القانون الذي طرحه أرسطو ، لأسباب شتى ، بخاصة على يد شارحيه العرب الذين كانوا ينقضون فكرة استطاعة متحرك أن يبلغ سرعة لا نهائية باعتبارها غير معقولة . وهذا هو مع ذلك ما يتنبأ به قانون أرسطو في الحالة التي تنعدم فيها مقاومة الوسط ، مثلاً في الخلاء . وإذا تجاوزت مقاومة الوسط القوة المطبقة على جسم ، فهذا الجسم يظل ساكناً ، في حين أن قانون أرسطو يتنبأ أيضاً بسرعة غير معدومة .

لهذه الأسباب ، اقترح ابن رشد وأقونباس قانوناً آخر تكون السرعة فيه متناسبة مع الفرق بين القوة الدافعة وبين المقاومة ، بدلاً من أن تكون متناسبة مع النسبة بينهما $s \propto (Q-m)$. فيما بعد ، عدل فيزيائيو أوروبا في القرون الوسطى من أمثال أوريسم ، بوريدان ، ألبيردى ساكس قانون أرسطو ، لكي يأخذوا بالحسبان الاعتراض الثاني ، وقد طرحوا القانون $s = k(Q-m)$ ، في شكله الضمني طبعاً . فالأمر حصل قبل اختراع اللوغاريتم . وهذا القانون يدل على أن الجسم يكون في حالة السكون عندما تكون مقاومة الوسط مساوية للقوة المطبقة عليه .

أمر، فقد كان لا يزال علينا أن نقطع طريقاً طويلاً يمتد بين هذا الحدس الأول والتعبير الأول للسرعة الذي عرفه نيوتن.

ومن المفيد أن نتابع مختلف مراحل هذا الإكتشاف. حينذاك نشاهد تقطيعاً للحركة أكثر فأكثر تصغيراً للأجزاء. وقد ميز ألبيردي ساكس، في حوالي عام ١٣٥٠، بين ثلاثة مراحل لوصف حركة حجر قذف بقوة أفقياً.



- في بداية الأمر، يتم الحجر «حركة عنيفة» (بالمعنى الأرسطو طاليس) بتأثير الدفعة الأفقية البدئية، وحسب رأي أرسطو، لا يمكن أن تتطابق حركتان في المتحرك، لذلك يكون المسار أفقياً خلال المرحلة الأولى.

- مع ذلك، تستهلك مقاومة الهواء بالتدريج «الدفع» البدئي الذي طبق على الحجر. حينذاك تتدخل مرحلة انتقالية قصيرة في غضون تدع الحركة العنيفة الأفقية المجال لحركة طبيعية شاقولية، بها ينجذب الحجر نحو موضعه الطبيعي بتأثير الثقالة الأرضية. وهذه المرحلة الإنتقالية، العجيبة بلا ريب، لأنها تتضمن تراكب الحركتين، لم يشرحها ألبيردي ساكس الذي ألح على قصرها وحسب.

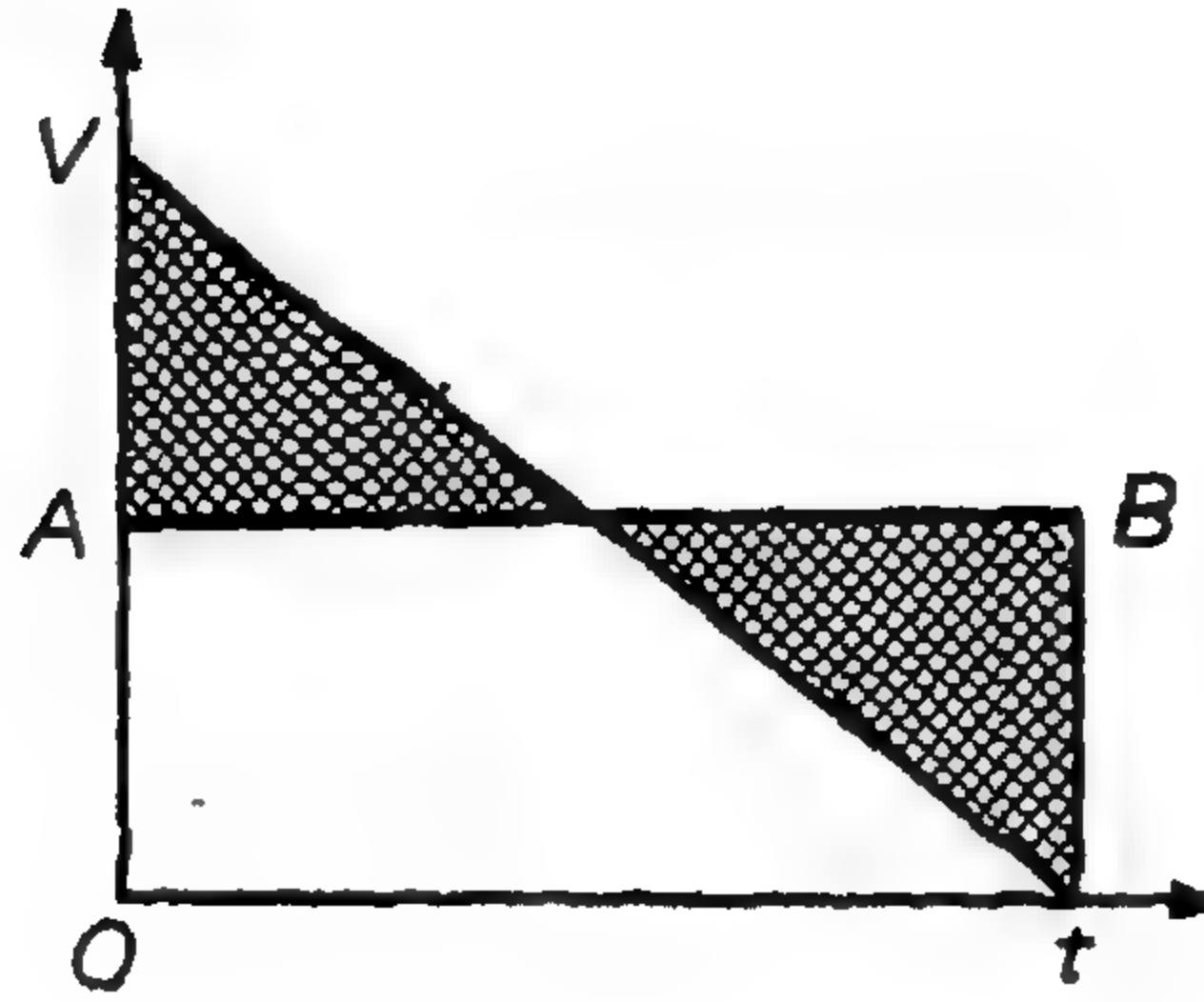
أخيراً تتدخل مرحلة ثالثة، عندما تكون الجاذبية الأرضية قد استعادت كل

حقوقها، حينذاك يتابع الحجر الحركة التي تميز الأجسام الوازنة، والتي لا يحللها **البيردى ساكس** أكثر.

في المرحلة نفسها تقريباً، شرع **أوريسم** بدراسة حركات غير منتظمة. وأستخدم قاعدة تركيب السرعة (قاعدة متوازي الأضلاع، التي وفقها يمكن أن تتواجد في الجسم نفسه حركات شتى، حينذاك تنضاف السرعة المقابلة لها شعاعياً إلى بعضها البعض) وتركيب السرعة كان قد سبق أن أدخله **جوردانوس** في القرن السابق. وقد تخلص من ثم بشكل واضح عن تعليمات أرسطو بخصوص وحدوية الحركة. وأستخدم بشكل جلي جداً قاعدة تركيب السرعة في دراسة حركة الأجسام المتحركة التي تخضع في الوقت نفسه لحركة طبيعية ولـ «حركة عنيفة». لقد دحض بخاصة الاعتراض الذي كان يقدم عادة، في ذلك الحين، من أجل نفي دوران الأرض. كان أنصار ثبات الأرض يقولون، عندما يرسل سهم في الهواء شاقولياً، فإنه يسقط من جديد على قدم من أرسل السهم؛ وعليه، إذا كانت الأرض تدور، في غضون انطلاق السهم، فإن الأرض تستمر في دورانها ويستمر صعيد الأرض في حركته، بحيث ربما لا يكون مفروضاً أن يسقط السهم من جديد على قدم من أرسله. وقد رد عليهم أوريسم بأن السهم الذي يرسله الرامي، شأنه شأن الرامي نفسه، يسهم في حركة الأرض وأن على حركة الدوران هذه أن تكون دوماً مركبة من الحركة الشاقولية التي فرضها مرسل السهم والثقالة الموجهة نحو الأعلى أو نحو الأسفل، فالسهم يعود بالضبط إلى النقطة التي منها كان السهم قد أرسل، لأن المركبة الأفقية لحركته مطابقة لحركة صعيد الأرض الأفقية.

أيضاً في غضون القرن الرابع عشر ظهر للمرة الأولى، في كتابات رياضيين مدرسين، التعبير الحديث عن السرعة باعتبارها نسبة بين المسافة المقطوعة والزمن الذي استغرق في قطعها. وللمرة الأولى درس أوريسم نظرية الحركة المتسارعة بانتظام، أي حيث تزيد حركة المتحرك أو تنقص بانتظام في أثناء الزمان.

لقد مثل هذه الحركات بمستقيم، في رسم بياني، عليه تكون السرعة والزمان على التوالي ممثلين على أنهما ترتيب وفصل.

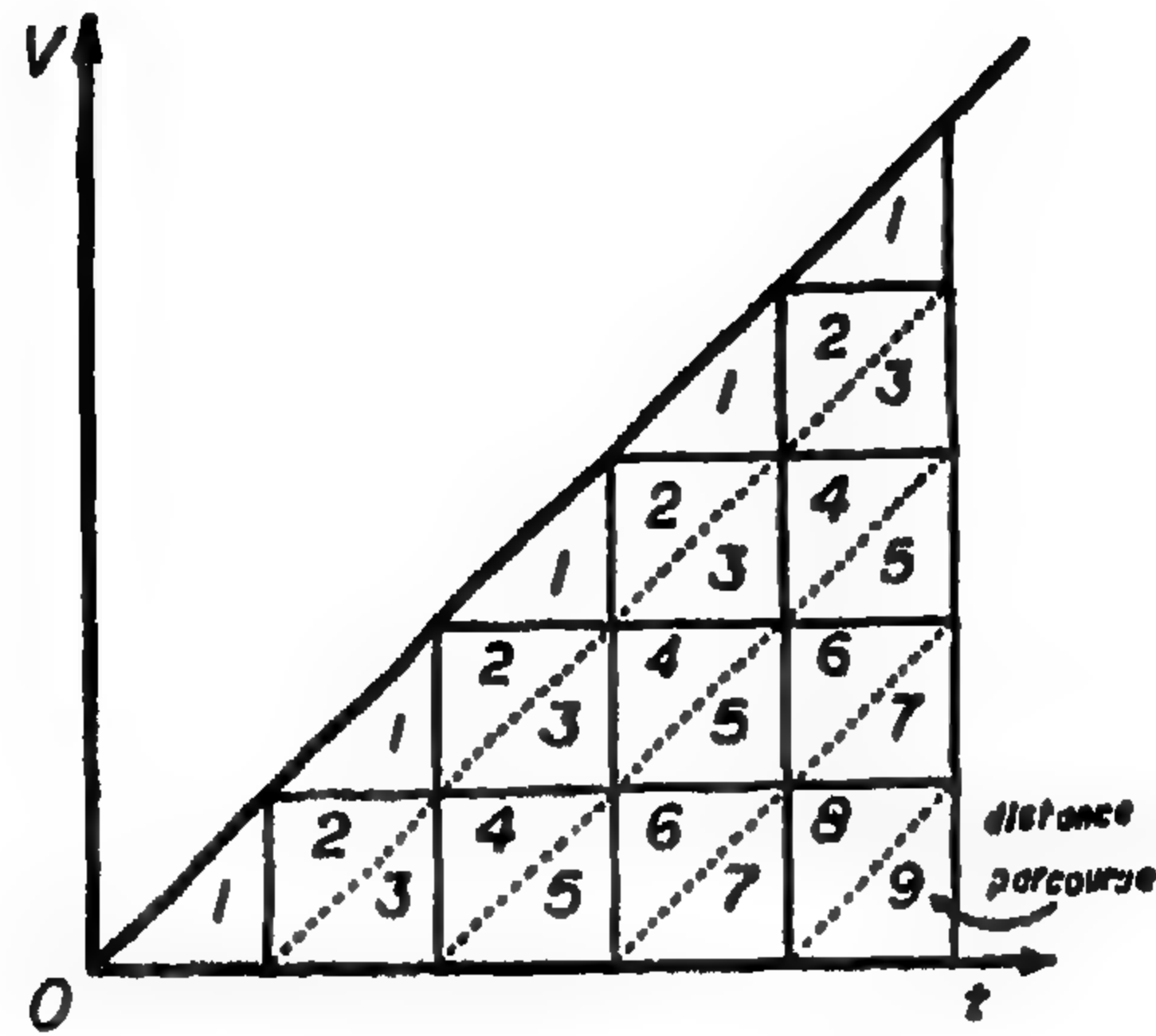


إنه يُظهر أن المسافة التي يقطعها المتحرك بين اللحظة صفر (حيث تكون السرعة سر) واللحظة ز (حيث تكون السرعة صفر)، مساحة المثلث OVt ، هي المسافة نفسها التي يقطعها متحرك حركة منتظمة بسرعة $\frac{V}{2}$ (مساحة $OA B t$). وبهذه الوساطة إذن أرجع أوريسم دراسة الحركة المتسارعة بانتظام إلى الدراسة، التي سبق أن كانت معروفة، دراسة الحركة المنتظمة. وهذه التقنية فتحت الطريق إلى دراسة حركات متغيرة أكثر عمومية. فهذه الحركات الأخيرة يمكن دائماً أن تقسم إلى شرائح زمانية قصيرة قصراً كافياً لاعتبار أن المتحرك يكون، خلال كل شريحة منها، متحركاً حركة منتظمة.

استخدم غاليليه هذه الفكرة استخداماً منهجياً عندما باشر دراسة سقوط الأجسام.

غاليليه وسقوط الأجسام

أثبت غاليليه، باستخدامه محاكاة أوريسم، في رسالة موجهة إلى باولو ساربي في عام ١٦٠٤، أن جسماً متحركاً حركة متسارعة بانتظام، يقطع، عندما تكون الحركة مقسمة إلى أجزاء زمانية متساوية، أجزاءً مسافية تكون فيما بينها كالأعداد الفردية: ١، ٣، ٥، الخ.؛ الأمر الذي يعني، بتعبير آخر، أن المسافة المقطوعة منذ اللحظة صفر تزداد كمربع الزمان الذي استغرق في قطعها.



علينا أن نلاحظ أن غاليليه، في هذا الوصف، يجزئ أجزاء الحركة المتسارعة إلى أجزاء زمنية أصغر بحيث تكون، في غضون كل جزء منها، الكمية ذات الدلالة هي سرعة المتحرك المتوسطة.

لقد كان بالضبط على هذه السوية، سوية تقسيم الحركة إلى مدد أكثر فأكثر قصراً (ما يعلن الفكرة النيوتونية الحركية على أنها النهاية التي تتناهى إليها النسبة بين المسافة المقطوعة والزمان الذي استغرق في قطعها) أن أدركنا التوازي بين تطور الأفكار الخاصة بالزمان وبين تطور تقنيات قياس الزمان. والحقيقة، إن تصور أجزاء زمنية أكثر فأكثر قصراً معناه أن نتصور، إن لم نقل نحقق، قياسات مهل زمنية أكثر فأكثر قصراً. وليس مؤكداً أن يكون غاليليه نفسه قد حقق بالفعل تجاربه الشهيرة على المستوي المائل. ومع ذلك فهو يصفها بتفاصيل كثيرة، كما لو أنه كان يسعى لاقتناع القارئ بالإمكانية العملية للتقطيع الذي يخضع له الحركة.

لقد استعمل غاليليه كرة خشبية، ومستويًا مائلاً (لوحة خشبية محزوزاً في وسطه، بحيث تتبع الكرة عندما تترك خط الميل الأعظم)، ومقياساً للزمان. ومقياس الزمان هذا كان مكوناً من ساعة مائية، أي من إناء مملوء ماءً مثقوب في قاعه ثقباً مجهزاً بصنبور (حنفية). وترتكز التجربة على ترك الكرة وفتح الصنبور،

في الوقت نفسه ، ثم غلق الصنبور في اللحظة الذي تكون فيه الكرة قد قطعت المنحنى بأكمله . وتجدد التجربة في فترة زمنية ثانية حيث لا يعود يستخدم طول لوح الخشب بأكمله ، بل رבעه . و يقيس وزن الماء المتجمع الزمان الذي مر . وقد شاهد غاليليه حينذاك بأن ما يسيل من ماء يكون أقل بمرتين ، وبالتالي يمرز من أقل بمرتين . ينتج عن ذلك ، أن المسافة المقطوعة تتغير كتغير مربع الزمان الذي استغرق في قطعها . من الناحية التقنية ، لم يكن يستطيع أن يفعل ما هو أفضل من ذلك ، وسوف لن يسعى إلى وصف تجربة تتضمن تقطيعاً للحركة أدق من ذلك .

السرعة الآنية وتقدم صناعة الميقاتيات

أصبحت ، في القرن الخامس عشر ، التقدمات التقنية حاسمة في سيرورة مفهومة السرعة . وقد استعمل برنارد وولتر ميقاتية ميكانيكية مجهزة بدولاب مسنن ذي ٥٦ سناً ، الأمر الذي كان يتيح له أن يقدر مهلاً زمنية من رتبة الدقيقة (مفهوماً ، كانت الدقائق والثواني قد أدخلت منذ القرن الرابع عشر) . لكن فقط بعد تطبيق النواس في صناعة الميقاتيات ، وفق فكرة غاليليه (هويغنز ، ١٦٥٧) ، بدأ بامتلاك مقاييس زمنية حقيقية . ومنذ عام ١٦٥٨ ، عرض هويغنز ميقاتية ذات نواس مجهزة بثلاث إبر (عقارب) : إلى جانب عقربي الساعات والدقائق ، ظهر عقرب الثواني . وفي غضون العقود التالية ، تلا تعميم قياس الزمان ، بما يقرب من ثانية ، تطور ساعات هي مقاييس للزمان ذات نابض وذات رصاص حلزوني . وقد كان بالصبط في ذلك العهد أن أتم نيوتن اكتشاف المفهوم الحركي للسرعة الآنية .



الفصل الثالث

خطأ لغاليليه مرموق

كان العلماء الفلاسفة في القرون الوسطى، كما رأينا للتو، يجدون صعوبات جمّة في تصور اللحظة. فأنعام النظر إلى مدد أقصر فأقصر، حتى النهاية التي تكونها اللحظة، كان يتطلب منهم جهداً تجريبياً شاقاً حتى أنهم كانوا يكادون لا يستطيعون أن يستندوا، من أجل غزو العقل هذا، على عادة تقنية: فقياس فواصل زمانية قصيرة خارج استطاعة مقياساتهم.

إن بساطة مقياسات ذلك العهد كانت بلا شك مسؤولة جزئياً عن البطء الذي اتصف به وعي مؤسس العلم الحديث للدور الأساسي الذي كان يجب أن يُعزى للزمان في النظرية الفيزيائية. في هذا الصدد، ليس من مثال أشد إقناعاً من مثال المسار البطيء الذي سلكه غاليليه كي يكتشف قانون سقوط الأجسام. كان يجب في الواقع أن يتم التخلي عن الأوصاف الهندسة البحتة التي كانت ذات حظوة حينذاك وأن بمنح الزمان دوراً مركزياً من أجل وصف الحركة، ولا تشكل، من جهة أخرى، تلمسات غاليليه وأخطاؤه البدئية حول هذه النقطة حالة منعزلة. فليونارد دي فانسي وديكارت، إذا اكتفينا بذكر من أشار إليهم ألكسندر كوارى، ارتكبا في العهد نفسه أخطاءً مماثلة. إن تكرار هذه الأخطاء يظهر جيداً صعوبة الانتقال من نظرية للطبيعة مؤسسة على المكان إلى وصف مؤسس على الزمان، وأهمية هذا المنعطف في تاريخ الفكر العلمي.

غاليليه، ناقد أرسطو ومريد أرخميدس

تحدث غاليليه، قارئ الفيزياء في بادو في عام ١٥٩٥، عن الحركة «الطبيعية»، التي، حسب رأي أرسطو، تستدعي كل شيء نحو موضعه شبه

العضوي، وبصورة خاصة كل الأجسام الوازنة نحو جوف الأرض، حتى أعمق ما تسمح به لانفاذيتها. وفي الحقيقة غدا ينتقد أرسطو الذي لم يفتش أو لم يعرف كيف يكتشف وصفاً كمياً للحركة واكتفى بشرح غائي، كما لو كانت الأشياء تخضع لمشروع، على غرار البشر. فذهنه الأبى كان على ما يحتمل قد غدا يجذبه إلى أن ييوح لبعض المريدين بشكوكه بصدد منظومة بطليموس الكوسمولوجية، التي كانت تفرض عليه تعليمها البرامج. إن جدة خطابه، والحمية التي يستخدمها لإعلان إمكان وضرة وصف كمي، وثقته فيما يتعلق بإمكانات ترجمة الظواهر الطبيعية بتعابير رمزية رياضية وأن يبرهن بصدد الطبيعة بواسطة أشكال هندسية، قد جذبت مستمعيه، ألا يعتقد المرء أنه يسمع في هذا الخطاب شكلاً مسبقاً لمناجاة انشتاين، وقد أدهشته المعقولة الرياضية للطبيعة؟

قرأ غاليليه أرسطو وإفلاطون، لكنه قرأ أيضاً أرخميدس، وأرخميدس أصبح ملهمه الرئيس، ومن المحتمل أن تكون قد وقعت بين يديه مقالات أرخميدس في نسختها اليونانية الأصلية، التي عُثِرَ عليها في القسطنطينية واحتفظ بها في إيطاليا في القرن السادس عشر أسرة الإنساني الإيطالي لورونزو فاللا. ومن السهل أن نتصور السحر الذي مارسه عليه قراءة مثل هذه المقالات، التي اكتشف من خلالها أن الهندسة هي الفن، هي الوسيلة والمكان حيث يجد العقل أدلاء صدق، بعيداً عن خطابات الفلاسفة المدرسين اللفظية والمبهمه. إن الطبيعة، في حقيقة ماهيتها، تخضع لمبادئ إمكانية الإستنتاج العقلية، كما نصادفها في الهندسة.

إن غاليليه استخلص من تعليم أرخميدس فلسفة حقة للمنهج العلمي: يجب أن لا تفتش في النظرية الفيزيائية عن تحليل وعرض مفصل لمظاهر الظواهر. فهذه المظاهر يمكن أن تكون خداعة. إنها تستطيع أن تخفي تحت نقاب الجواز والمصادفات والتشويشات أن تخفي وقائع مضمرة تخضع للعقل الرياضي. إن الطبيعة التي يجب أن نكشف القناع عنها هي هذه الطبيعة المثالية التي تنضم، في ذهن الفيزيائي، إلى العلم الكامل الذي تكونه الهندسة. ويجب والحالة هذه أن

نبحث عن المبادئ القابلة لأن تُصير رياضية التي تشكل ماهية الأشياء، وسوف تقدم معرفة هذه المبادئ شرح الظواهر، وسوف تتوضح التفاصيل غير المفهومة .

إن ابيستمولوجيا غاليليه مُعبرٌ عنها بوضوح في العمل المثير للجدل -Ip Sag- giatore (مُعايير العملة) الذي نشره في وقت لاحق من أجل الرد على انتقادات خصومه : «إن الفلسفة مكتوبة في هذا الكتاب الكبير جداً الذي يظل باستمرار مفتوحاً أمام العيون (وأعني الكون)، بيد أنها لا يمكن أن تفهم إذا كنا لا نمتلك قط اللغة وإذا كنا نجهل الحروف التي كتبت بها . فهذه الفلسفة كتبت بلغة رياضية ؛ وحروفها هي مثلثات وداوائر وأشكال هندسية أخرى ، ويمتنع علينا بغير واسطتها أن نفهم بطريقة إنسانية بعض الكلام ؛ وبدونها لا نفعل شيئاً سوى أن نضل عبثاً في نية معتم» .

إن غاليليه، عندما شرع للمرة الأولى في دراسة سقوط الأجسام، استعمل على الفور هذه المقاربة، متخذاً محاكمات أرخميدس كنموذج، فهو يفتش عن مبدأ . وعن هذا المبدأ ينتج، بواسطة تبديل تماثلي، شكل هندسي بالاستناد عليه سوف يستطيع أن يحاكم من أجل اكتشاف قانون الحركة . على هذا الحال كان أساس المنهج الذي صيره منهجه .

إن أرخميدس كان، في دراسته للأجسام الطافية، قد أدخل المبدأ الذي ظل اسمه مقترناً به : الدفع الذي يتعرض له جسم طافٍ (عائم) يساوي ويعاكس وزن حجم الماء المزاح . فلماذا لا يكون الأمر على هذا الحال في الهواء أيضاً؟ لقد اختار غاليليه والحالة هذه، في مرحلة أولى، نقل مبدأ أرخميدس في توازن السوائل إلى سقوط الأجسام . وقد عرض هذه الفكرة في مؤلفه الأكاديمي De Motu الذي كان قد كتبه في پيزا آنفاً منذ عدة سنوات . ففيه شطر رأي أرسطو، الذي كان يميز بين الأجسام الوازنة المنجذبة نحو الأسفل، والأجسام الخفيفة، المنجذبة نحو الأعلى . وقد شرح الأمر بقوله، ليس ذلك كله سوى مسألة اختلاف في الوزن النوعي : فالجسم الأثقل من الهواء يهبط، والجسم الأخف من الهواء يرتفع . والسرعة التي

تهبط بها الأجسام الوازنة تكون، والحالة هذه، تابعاً لأوزانها النوعية النسبية. فلو كانت كل الأجسام التي تحيط بنا تهبط في الخلاء، فربما سوف لن يكون لسقوطها غير سبب وحيد (الثقالة)، وربما كانت، والحالة هذه، سوف تهبط جميعها بسرعة منتظمة، لأن سبب حركتها ثابت (فسبب ثابت، كما تعلمنا ذلك أرسطو، لا يستطيع في الواقع إلا أن يقود إلى مُسببات ثابتة). بيد أننا نعرف بالتجربة أن الأجسام لا تهبط بسرعة منتظمة: فهي على العكس تهبط بسرعة متناهية، على الأقل في بداية سقوطها. وهذا ينتج عن المبدأ المفترض، إن الأجسام الفاطسه في الهواء، في بداية حركتها «اختزنت» خفة تساوي وزنها (تساوي لأنها كانت ساكنة). وهذه «الخاصة» المختزنة قبل سقوط الأجسام، الخفة، هي ما يعارض ويؤخر الحركة في طورها البدئي، إلا أنها تنفذ بالتدرج بحيث تكون النتيجة الإجمالية هي تسارع الحركة.

واحسرتاه، إن المبدأ المفترض لا يقود، بواسطة تبديل هندسي، إلى قانون رياضي واضح ويمكن التحقق منه تجريبياً، فغاليليه لم يستخلص، في عام ١٥٩٠، من تفسيره الهيدروستاتيكي لحركة سقوط الحصى غير إرشادات كيفية، كتسارع الحركة التدريجي، حتى أن تفسيره قاد إلى أباطيل أكد تأكيداً حاسماً أنها موافقة للتجربة: الأجسام الخفيفة - التي تختزن، نظراً لوزنها النوعي، قدراً من خاصية الخفة أقل من الأجسام الثقيلة - عليها في بداية سقوطها أن تهبط بسرعة أكبر من سرعة هذه الأجسام الثقيلة. لم يكن غاليليه في هذه المرحلة قد امتلك الإيمان بالوقائع. فهذا ينبغي أن يكون هكذا كان لا يزال متفوقاً على هذا هو.

يصعب التحقق بشكل أكيد من هوية الحوادث التي قادته أخيراً، في بداية سني ١٦٠٠، إلى التخلي عن المبدأ الهيدروستاتيكي كمبدأ شارح لسقوط الأجسام. ويحتمل أن يكون قد وعى، وهو يهذب تجريبه، الفوارق الكبيرة بين ما كان يرجو أن تكون الطبيعة قد فعلته وبين ما تفعله بالفعل. وقد عُثِر في مكتبة فلورانس، على أوراق لغاليليه يبدو عليها ظاهراً نتائج دقيقة لتجارب على المستوى المائل. بيد أن تاريخها الصحيح، شأنه كشأن تفسيرها المفصل، ظل ينطوي على ضعف بالنسبة لصحته.

على كل حال اقترح غاليليه في عام ١٦٠٤ مبدأ شارحاً آخر وأعلن في الوقت نفسه أنه يحوز على القانون الرياضي لسقوط الأجسام الذي ينتج عنه هندسياً، كما اعتقد أعلن غاليليه، عن هذا الإكتشاف المزدوج، لحاميه وصديقه باولو ساربي، عالم لاهوت من البندقية.

«بينما أفكر في مسائل الحركة، التي بالنسبة لها، كان ينقصني، من أجل برهنة الحوادث التي لاحظتها أنا، مبدأ أكيد بشكل مطلق ربما كنت سوف أستطيع اتخاذه كمسلمة، وقد آل بي الأمر إلى قضية بدت طبيعية وجليه إلى حدّ كافٍ؛ قضية بناء على افتراضها، أبرهن كل ما تبقى، وبخاصة أن الأمكنة (المسافات) المقطوعة في الحركة الطبيعية تكون متناسبة بنسبة مزدوجة مع الزمن وأن المسافات المقطوعة في أزمنة متساوية، بالتالي، تكون كالأعداد الفردية ab unitate والأشياء الأخرى.

والمبدأ هو هذا: المتحرك الطبيعي يمضي مزوداً سرعته تماماً بنسبة ما يبتعد عن نقطة انطلاقه؛ مثلاً، كما لو أن حصاة تسقط من النقطة A على الخط ABCD، أفترض أن درجة السرعة التي للحصاة في النقطة C هي من السرعة التي كانت لها في B هي كالمسافة CA إلى المسافة BA، وهكذا، بالتالي، يكون لها في D درجة سرعة أكبر من درجة السرعة التي كانت لها في C بمقدار ما تكون المسافة DA أكبر من المسافة CA.

إن المبدأ الشارح الذي استشهد بها غاليليه في هذه الرسالة مغلوطة فيه: فالسرعة، في حركة سقوط حر، لا تتناسب مع المسافة المقطوعة، بل مع الزمان الذي مر، وهذا أمر مختلف. في الحالة الأولى، ربما كانت المسافة المقطوعة سوف تزداد تزايداً أسياً Exponentiellement بمرور الزمن، إذن بسرعة أكبر مما هو الأمر في الحركة الواقعية، التي فيها لا تزيد السرعة إلا كزيادة مربع الزمن. هذا لا يحول دون أن يكون الأمر أكثر جدارة بالملاحظة لكون غاليليه قد ذكر مع ذلك بقانون

A
B
C
D
الشكل - ٤.

الحركة الصحيح، على أنه نتيجة هندسية للمبدأ: إن هذا القانون وجب أن يكون قد أوحى إليه من الخارج، وقد كان ذلك بلا شك، بواسطة قياسات تمت بدقة، ومن جهة أخرى، مهما كان المبدأ المستشهد به مغلوطاً فيه فذلك لا يقلل من كونه يمثل خطوة كبرى إلى الأمام بالنسبة للتحليل الذي قُدِّمَ في كتاب De Motu، إذ أن الأمر هو تماماً أمرٌ نفي مبدأ أرسطو، الذي وفقه، لا يستطيع سبب ثابت إلا أن يولد مُسببات ثابتة. وقد تم، في الواقع، للمرة الأولى، التبصر، فيما يتعلق بالحركة الطبيعية، في سيرورة جمعية؛ الدرجات السرعة المكتسبة تضاف، بواسطة تراجع يضمّر قبلاً، بطريقة خرقاء، مبدأ العطالة (في متحرك معزول عن التأثيرات الخارجية، كل درجة حركية مكتسبة، تبقى على حالها على الدوام).

منذئذ امتلك غاليليه الخوارزمية (نظام الحساب) التي تتيح له أن يحسب، وبالتالي أن يتوقع، بـ «طواريء» الحركة المتسارعة بانتظام. فهو يعرف أن مسار القذائف هو قطع مكافئ. ويستطيع أن يحسب الميل الذي يجب أن يعطى للمدافع من أجل الحصول على مدى الرمي المطلوب، وأن يبرهن بخاصة، أن المدى الأعظم يتم الحصول عليه بواسطة زاوية رمي تبلغ ٤٥°، إن هذه النتائج العددية أذهلت قباطنة البندقية وفلورانس، إذ ذهب إليهما في عام ١٦١٠، لكن منذ ذلك الوقت انجذب ذهنه بقادم جديد من هولاندا، حول الخواص الضوئية المرموقة لإحكام معين لعدسات ضوئية يتيح رؤية الأشياء البعيدة كما لو كانت قريبة. ومنذئذ استخدم خلاصة مهارته من أجل اكتشاف السماء والفوز بالحصول على أدلة جديدة من أجل دعم منظومة كوپرنيكوس الكوسولوجية

الحكم لصالح الزمان

أنضح غاليليه، مع تقدمه في السن، مبادئ العلم الجديد التي رسخها عنده إكباره لأرخميدس ويقينه بمعقولية الطبيعة الرياضية واحتراسه بالنسبة للأدلة السائدة. وقد استدعى إلى الذاكرة، في مؤلفه الذي يعد بمثابة وصية، خطابات حول علمين جديدين، القانون الصحيح لسقوط الأجسام، وبرهن علاقته الضرورية بمبدأ

الدنياميكا الحق : في حركة سقوط حر ، تكون السرعة متناسبة مع الزمن الذي مر ، وليس مع المسافة المقطوعة ، كلفت الشخصية البارزة de Sacredo بأن تطرح في هذا الكتاب المسألة الساذجة : لماذا نختار مبدأ يرجع إلى الزمن ، الذي يبدو معقداً ومجرداً ، وليس مبدأ أبسط وأكثر واقعية ، قد تكون فيه السرعة متناسبة مع المسافة المقطوعة ؟ كان الجواب الذي قدمه غاليليه في مقطع اليوم الثالث هذا ، غامضاً وغير صحيح ، والجواب الجيد يوجد مع ذلك في الكتاب نفسه : من أجل أن نفهم الحركة المتسارعة بانتظام ، علينا أن «نركز انتباهنا على صلة القربى العظمى التي توجد بين الحركة والزمان» . فالزمان وليس المكان ، هو الثابتة Paramtse المكتومة في الميكانيكا ، هو نابض الفيزياء الحق .

على هذا الحال ، في الحقيقة ، كان أعظم اكتشافات غاليليه ، الأعظم بلا ريب في مجال الدنياميكا ، عقب حياة كلها مكرسة للبحث عن قراءة للطبيعة جديدة : توجد صلة قربية عظمى بين الحركة والزمان ، أي بين النفخة التي تجوب الطبيعة ، تجعلها تهتز ، وتتغير ، وتعيش ، وبين هذه الكمية المحسوسة التي تدل عليها الميقاتية ، كان خطأ غاليليه في عهد شبابه ، الذي لا شك أنه قد تأكد منه بنفسه ، كان هو وثوقه العظيم بأرخميدس ، كان قسره الشديد للطبيعة على قبول أشكال واقتضاءات هندسية ، في حين أن الدنياميكا تخضع لمنطق آخر غير منطق الشكل والمكان .

أتاح اختراع زمان الميكانيكا حينذاك لمؤسسي العلم الجديد قلب منظور أرسطو ، الذي كان يجعل من الزمان عدد الحركة ، وعدد الحركة لا يوجد إلا بالحركة ، وهو خاضع للحركة ، وليس سوى انعكاس لهذا الواقع الأول ، وهو من جهة أخرى لا يوجد على ما يحتمل إلا بمقدار ما يمكن أن يكون معدوداً ، أي متفتتاً في الذكاء الإنساني ، كما يوحى بذلك أرسطو نفسه في كتابه الفيزيكا ، برهن غاليليه أنه يوجد ، بخلاف ذلك ، في الطبيعة ، شيء ما أولي ، به تكون الحركة منظمة ، وقد ماثله بزمان الميقاتيات ، زمان الميقاتية المائية التي استعان بها كي يصف تجاربه على المستوى المائل ، زمان نبضان نبضه أو زمان تأرجحات ثريا في كاتدرائية ييزا ، أخيراً بزمان ميقاتيات مدينة بادو الميكانيكية .

لا شك أن تغير المنظور هذا أوحى له هذه المواضيع حول الأهمية المستقبلية لمكتشفاته : «والآن نستطيع أن نقول أن الباب مفتوح ، للمرة الأولى أمام منهج جديد مزود الآن بنتائج عديدة رائعة ، سوف توجه في السنين القادمة انتباه الأذهان» .

مع ذلك ، يجب الإعراف أنه ، إذا كانت الميكانيكا الجديدة تغير فعلاً الآفاق النظرية باختيارها الزمان كواقع أولي ، فإنها لم تكن تقدم أكثر من الفيزيكا القديمة الوسائل لأدراك هذا الواقع ، فكل الميقاتيات التي عدناها للتو هي في الواقع إشارات ، بدائل زمانية ، لا شيء ، يضمن أن تكون دائماً قادرة على أن تسير بشكل متزامن . فمن خلال قلب وسخرية من سخریات تاريخ العلوم تعودنا عليها ، تدل الميكانيكا الجديدة التي رسم خطوطها الأولى غاليليه ، والتي أكملها بعده خلفاؤه غاساندي وديكارت ونيوتن ، في حقيقة الأمر ، على عدد زمان ، والحال هو أن عدد الزمان للميكانيكا الجديدة يتطابق بالضبط مع المكان ، من خلال مبدأ العطالة : «تكون فاصلتان زمانيتان متساويتين في قياسيهما عندما تكونان بحيث يقطع متحرك متحرر من أية قوة كانت في غضون الفاصلة الثانية ، المسافة نفسها التي يقطعها في غضون الفاصلة الأولى» .

* * *

الفصل الرابع

نيوتن واكتشاف القانون الثقالي

كان عمر إسحاق نيوتن، في عام ١٩٦٦، ٢٣ سنة. وكان قد أبعدته قبل ذلك بعدة سنوات، عن مدينة كامبريدج، التي كان يتابع فيها دراسته الجامعية، جائحة طاعون دبلي. وقد أخذ يتفكر، وهو معتزل في مسقط رأسه لينكولنشاير، في مسائل علم زمانه الكبرى، كان منهجه بسيطاً: «أبقي على موضوع بحثي نصب عيني باستمرار، وانتظر أن تبدأ البراقات الأولى بالتفتح ببطء شيئاً فشيئاً، حتى تستحيل إلى وضوح كامل وتام».

وقد مثل بين مسائل عصره الكبرى مسألة تنظير الميكانيكا، وكان قد عُرِف منذ عدة عشرات من السنين، بفضل أعمال غاليليه وخلفائه، مبدأ العطالة. وفق هذا المبدأ، تحافظ الأجسام المادية، عندما تكون بمأمن من كل تأثير خارجي، تلقائياً على حالتها الحركية التي توجد فيها. فإذا كانت في حالة سكون، تظل ساكنة. وإذا كانت في حالة حركة، فإنها تحافظ على حركة مستقيمة منتظمة، وفي حالة الأجسام الخاضعة لتأثير خارجي (نقول، بناء على قول نيوتن، «إنها خاضعة لقوة»)، غاليليه أيضاً زودنا بقانون فينومينولوجي خاص، قانون الأجسام الخاضعة لجاذبية الأرض: هذه الأجسام تهبط بحركة متسارعة بانتظام. فإذا قذف الجسم أفقياً بسرعة سر، فإن سرعته تركب انتقالاً أفقياً سرعته هذه السرعة المنتظمة، وفقاً لمبدأ العطالة، مع انتقال شاقولي متسارع بانتظام، وفقاً لقانون سقوط الأجسام. ومسار الجسم يكون قطعاً مكافئاً.

وفي حين فتش ديكارت، في القارة الأوربية عن وضع نظرية لقوانين

الميكانيكا وعن فهمها بواسطة تأثيرات تماس (صدمة مباشرة أو، إذا لزم الأمر، بواسطة «دوامات» أثريه)، كان نيوتن يفتش عن شرح للعالم من طبيعة أخرى، بواسطة تأثيرات لا مادية على شاكلة الشروح الكيفية المعتمدة في مجال الخيمياء، لكن كان عليه، من أجل ذلك، أن يتحقق من أفكاره، فالتأثيرات اللامادية التي كان يفكر فيها لا تستطيع أن تكون مأخوذة بالحسبان. بالنسبة لوضع نظرية للميكانيكا، إلا إذا كانت تتيح حقاً شرح قوانين الحركة وأن تقود إلى توقعات كمية وحقيقية، ومن المحتمل أن يكون قد سبق له أن قرر أن يدعو «قوة» هذا التأثير اللامادي، «الذي هو سبب الحركات الحقة»، أي الحركات التي يُستطاع إرجاعها إلى تطبيق لمبدأ العطالة، لكنه بحاجة إلى إثبات (برهان).

كان قد سبق لنيوتن أن أصبح، في عام ١٦٦٦، يعي القدرة الشارحة التي يستطيع أن يتوقعها من فكرة القوة بتطبيقها على حركة الكواكب الدورانية، فالكواكب لا تتم حركة مستقيمة منتظمة، بل تدور حول الشمس، وهي والحالة هذه خاضعة لقوة، وهذه القوة يجب أن تكون مشابهة لتوتر الحبل الذي يجعلنا على صلة بحجر ندوره حولنا، كما هو الحال في المقلاع القديم، وندعو هذه القوة القوة النابذة، وقد أظهرت له محاكمة رياضية بسيطة أنه، إذا كانت الكواكب بالفعل خاضعة لمثل هذه القوة، وإذا كانت، من جهة أخرى، مداراتها تخضع للقوانين الفينومينولوجية التي نص عليها كيبلر، فحينذاك على هذه القوة أن تتغير كنغير عكس مربع المسافة^(١). وهذا هو قانون التجاذب العام الشهير.

لكن هذه الدلالة الأولى الفظة (إذ أن نيوتن كان يعرف جيداً أن حركة الكواكب ليست منتظمة وأن البعد عن الشمس والسرعة يتغيران على طول مدارها) لم تكن تجلب بعد البرهان الذي كان يفتش عنه، على كل حال، إن قول أن

(١) كان نيوتن يعرف أن القوة النابذة في مقلاع تتناسب مع $\frac{1}{r^2}$ ، حيث r هي سرعة الجسم المدور في طرف حبل طوله r ، وسرعة كوكب على مدار دائري نصف قطره r هي $v = \frac{2\pi r}{T}$ ، حيث T هي مدة الدوران الملاحظ، فالقوة التي تؤثر عليه يجب أن تكون متناسبة مع v^2/r ، من جهة أخرى يدل قانون كيبلر الثالث، الذي كان معروفاً حينذاك، على أن مربع الدور يتناسب مع مكعب نصف قطر المدار، والقوة التي نبحث عنها تكون والحالة هذه متناسبة مع $v^2/r = 1/r^3$.

الكواكب ترسم مساراتها بتأثير قوة موجهة نحو الشمس وتتغير عكساً لمربع المسافة التي تفصلها عن الشمس ليس غير طريقة جديدة للتعبير عن قوانين كيبلر، يشكل مكثف أكثر، لكن هل إن هذه القوة تشرح أيضاً ظواهر ميكانيكية أخرى كسقوط الأجسام؟

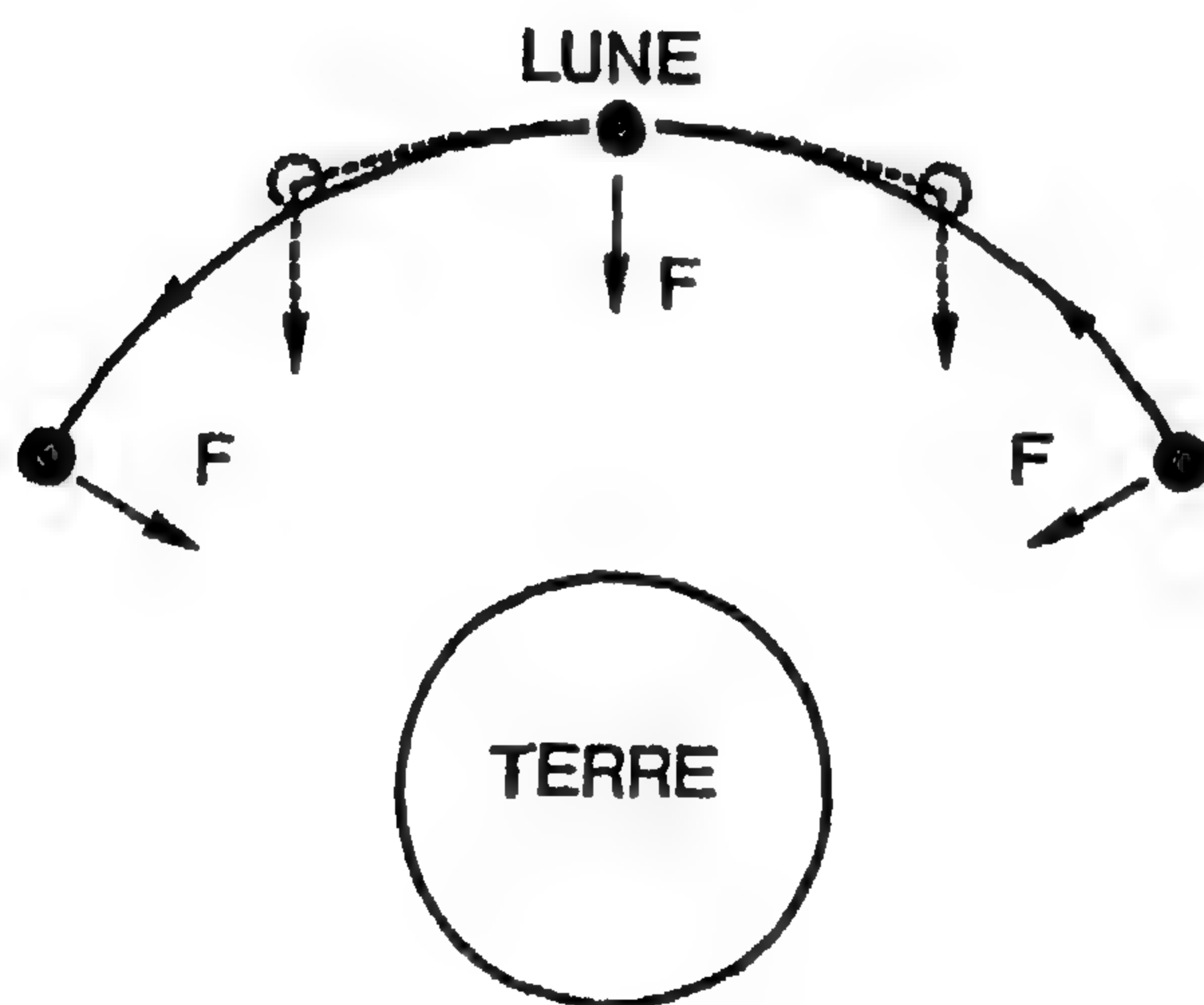
من الممكن أن يكون هذا الحدس العبقرى قد خطر ببال نيوتن في غضون تسكعاته وتأملاته الريفية في وولستورب وهو يرى تفاحة تسقط من شجرة تفاح، إذا أن نيوتن نفسه روى ذلك في مخطوطاته، ويمكن أن يكون ذلك على ما يحتمل أيضاً اختلاق تركه يشيع على مسؤوليته، تحت الحاح مسائل حول التقصف الفكري الذي أتاح له أن يلمح، من أعماق تفكره، «اليوارق الأولى التي بدأت تتفتح ببطء». إن كتاب سيرة نيوتن، أرادوا، وكان يدفعهم في ذلك نزوعهم للإستثنائي، أن يرمزوا إلى العبقرية بهذه الومضة التي عند سقوط التفاحة، ربما تكون قد جعلته يدرك التجاذب العام، في حين أن هذه الحادثة لم تكن، في أحسن الأحوال، غير مناسبة لتبلوره.

قانون التجاذب (الثقالة) العام

كان قد سبق أن أخذ مفكرون آخرون، في عهد نيوتن، يسعون لإقامة جسر بين الميكانيكا السماوية والميكانيكا الأرضية. وكان ديكارت يريد أن يشرح، بواسطة «دواماته»، الحركات السماوية مثلما كان يريد أن يشرح حركة القذائف الأرضية. وكان هوك، وهو فزيائي معاصر لنيوتن ومن مواطنية، يعمل بشكل مستقل عنه حول أفكار مشابهة. إلا أنه لم يتوصل أبداً إلى دعم نظرياته ببراهين رياضية، فنجاح نيوتن لا يتعلق بعبقريته بمقدار ما يتعلق بالثابرة والدقة اللتين أتاحتا له أن يبرهن أن فرضية الثقالة العامة تزودنا بشرح لمنظومة العالم، وبالقدرة على إرساء أسس نظرية للميكانيكا تامة ومحكمة.

وقد أدرك نيوتن، منذ عام ١٦٦٦، أن القوة التي تبقي الكواكب على مداراتها حول الشمس شأنها شأن القوة التي تبقي الأجسام على سطح الأرض أو

التي تجعلها تسقط وفق قانون الحركة المتسارعة الذي اكتشفه غاليليه ، وهذه القوة عامة ، فيجب والحالة هذه أن تنطبق على القمر أيضاً. هذا القمر يهبط باستمرار نحو الأرض ، قال ذلك لنفسه ، وهو تماماً كالحجر المقذوف قذفاً أفقياً يرسم قطعاً مكافئاً. لكنه ، إذ طغى عليه اندفاعه ، يخطيء ، إذا صح القول ، الأرض ويجد في نهاية المطاف نفسه دائماً ، بعيداً البعد نفسه عن الأرض . هذه الفكرة يمكن التحقق منها بالحساب ، إذا «هبط» القمر نحو الأرض لكونه يخضع ، كحجر مقذوف من برج ، لقانون سقوط الأجسام الغاليلي ، فيجب أن تكون حركته ، بالنسبة للمستوى الأفقي ، قطعاً مكافئاً ، على الأقل ما دامت قوة الثقالة التي تربطه بالأرض يمكن أن تعتبر على أنها موازية لنفسها.



إذا كانت قوة الثقالة تتغير تغيراً يتناسب مع مربع بعد الجسم عن مركز الأرض ، كما تصور نيوتن ، فإننا حينذاك نستطيع أن نستنتج علاقة بين دور دوران

القمر ونصف قطر الأرض والمسافة أرض - قمر^(١)؛ وذلك بفضل التكافؤ المفترض بين القوس الأولي لدائرة الحركة القمرية والقوس الأولي للقطع المكافئ الذي يمثل قانون سقوط الأجسام.

برهن نيوتن هذه العلاقة وفتش عن التحقق عما إذا كانت حركة القمر ترتضيها. نعرف جيداً دور دوران القمر حول الأرض (الشهر القمري). وكانت النسبة بين المسافة من الأرض إلى القمر وبين نصف قطر الأرض قد قدرت بواسطة اختلاف منظر القمر، أي الفرق بين زوايا تسديد النظر من القمر في اللحظة نفسها في مراقب أرضية مختلفة. وقد قدرت هذه النسبة، في ذلك العهد بـ ٦٠، بتدقيق جيد. طبعاً، كان نيوتن يعرف تسارع جاذبية الأرض على سطح الأرض، أما نصف قطر الأرض فقد كان بالمقابل معروفاً بشكل أقل جودة بكثير، كان غاليليه قد كتب، في مؤلفه الحوار حول منظومتي العالم، بأن نصف قطر الأرض يساوي ٣٥٠٠ «ميلاريا»، ميل إيطالي، أي ٥٣٠٠ كم تقريباً، ويحتمل أن يكون نيوتن قد استعمل هذه القيمة، مع أنها ليست أكيدة (موثوقة) أكثر من تقدير إيراتوستين، إن هذه القيمة هي، بالفعل، قصيرة جداً وأقصر بما يقرب من ٢٠٪، وتبدو القوة التي تبقي القمر على مداره، والحالة هذه، أضعف مما كانت تتوقعه فرضية الثقالة العامة لنيوتن.

كان الفارق أكبر مما يستطيع نيوتن أن يقربه، والخطأ إذا كان ثم خطأ، لا يمكن أن ينجم إلا عن سببين: فإما أن تكون القيمة المقبولة بالنسبة لنصف قطر الأرض خطأ، أو أن يكون غير صحيح أن نقبل، كما قد فعل، بأن الجاذبية على سطح

(١) إن ارتفاع جسم يسقط سقوطاً حراً يتغير كتغير $\frac{1}{2} g t^2$ ، حيث g هو تسارع جاذبية الأرض و t الزمن الذي مر. ففي الثانية الأولى من السقوط، يقترب هذا الجسم، والحالة هذه، من المستوى الأفقي بمقدار $\frac{1}{2} g$ من جهة أخرى، لنفحص مسار القمر الدائري، في اللحظة التي يكون فيها القمر في السميت، فإنه يقترب، في الثانية الأولى التي تلي، من المستوى الأفقي بمقدار $\frac{1}{2} g$ (١-كس) $\frac{1}{2} g$ ، حيث $\frac{1}{2} g$ نصف قطر مدار القمر و «دور دوران القمر حول الأرض»، هذا المقدار يجب والحالة هذه أن يكون مساوياً $\frac{1}{2} g$ ، حيث g تسارع جاذبية الأرض على ارتفاع القمر، ووفقاً لفرضية قانون الثقالة العامة يكون $g = \frac{GM}{r^2}$ حيث r هي نصف قطر الأرض، بالتوفيق بين هذه المعادلات المختلفة، نحصل على العلاقة المطلوبة $\frac{1}{2} g = \frac{1}{2} \left(\frac{v^2}{r} \right)$.

الأرض - المعزوة إلى التجاذب المتبادل بين جميع أجزاء **الأرض** - تكون بالذات كما لو كانت كتلة **الأرض** بأسرها متجمعة في مركزها. بالطبع، إلا إذا كانت فرضية الثقالة العامة نفسها خطأ . . .

يجب إيضاح أن نيوتن لم يكن يعرف بعد كيف يبرهن، كما قام بذلك فيما بعد، بأن التجاذب الثقالي الذي تمارسه كرة كبيرة هو عين التجاذب الثقالي الذي يمارسه جسم دقيق كالنقطة له كتله الكرة نفسها وموضوع في مركز الكرة، ألا يحتمل أن يكون هذا العجز هو ما شلّه. وحيث أنه لم يكن يشك بأن قيمة نصف قطر الأرض يمكن أن تكون خطأ، جانب الاكتشاف وأجل إلى وقت لاحق متابعة بحوثه حول هذا الموضوع.

إن هذه المعارضة تدوم، في الواقع، عشرين سنة. وقد أتاح اختراع الحساب التفاضلي أن يبرهن في عام ١٦٧٩ التكافؤ بين كتل كروية متجانسة وكتل نقطية، من وجهة النظر التجاذبية، فالجاذبية على سطح **الأرض** تكون بالذات كما لو كانت كتلة الأرض بأسرها متجمعة في مركزها. برهن (أي نيوتن) بعد ذلك بعدة سنوات، بعد مراسلة طال أمدها مع **هوك وهالي**، بكل دقة أن مسار الأجسام الخاضعة لقوة موافقة لقانون الجاذبية العام (يتناسب مع ١/و) بالنسبة لمركز ثابت، هو قطع ناقص يشغل مركز الجذب أحد محرقه، لم يكن، والحالة هذه، الحساب الذي أجراه في عام ١٦٦٦ لاستنتاج قانون الجاذبية العام انطلاقاً من مسارات الكواكب القطع ناقصية، تقريبياً وحسب، كما ظن الأمر حينذاك، بل نتيجة دقيقة.

أخيراً، علم، في حزيران من عام ١٦٨٢، في غضون اجتماع للجمعية الملكية أن ملك فرنسا جعل عالم الفلك **جان بيكار** يحقق، منذ مضي ما يقرب من عشر سنوات، قياساً دقيقاً لنصف قطر الأرض، بواسطة عملية تثليث للمسافات بين أميان وباريس. وقد أعطى، قياس بيكار لنصف قطر الأرض قيمة تكافئ ٦٣٧٠ كم بدلاً من ٥٣٠٠ التي استعملها نيوتن بناء على يقين غاليليه. كانت الدقة

في القياس الجديد تبلغ الـ ١٠٠٠ / ١ ولم يكن يمكن يوجد والحالة هذه أي شك حول واقع الفارق الذي شوهد في القياس الذي أشار إليه غاليليه .

ويذكر لنا التاريخ ، أنه قد استولى على نيوتن حينذاك انفعال حقيقي . فعاد إلى حساباته التي أجراها في عام ١٦٦٦ مستخدماً القيمة الجديدة لنصف قطر الأرض . وقد بلغ انفعاله حداً جعله يحتاج إلى أن يطلب العون في إجراء حساباته ، حتى ينتهي به الأمر إلى بلوغ الوضوح (التأكد) بأن القمر تبقى على مداره قوة تتوافق تماماً مع توقعات القانون الثقالي .

وقد أصبحت اطروحته بتفاصيلها الأخيرة ، في عام ١٦٨٤ ، بعد عشرين سنة من التلمس والتفكير ، في وضع سليم . وفقط بعض الأصدقاء علموا بالأمر ، منهم إدمون هالي الذي توسل إليه بالحاح طالباً نشرها ، وقد كتبت مخطوطة Prin-cipia mathematica philosophiae naturalis في وقت جد قصير وقدمت إلى الجمعية الملكية في ٢٨ نيسان ١٦٨٦ : وقد قررت الجمعية الملكية طبعها على نفقتها ، وقد صدر المؤلف في أيار من عام ١٦٨٧ ، ويظل المؤلف ، خلال ما يقرب من خمسين عاماً ، مجهولاً من قبل فيزيائيي القارة ، الذين رفضوا فكرة الجذب على بعد وفضلوا عليها شرحاً كيفياً لدوامات ديكارت ، وحصل أن حاز العلم النيوتوني على يد فولتير ثم لايلاس ، أخيراً ، على حقوق المواطنة . ولم يلبث أن تحول إلى اسطورة .

ما هي القوة؟

يعتمد العلم النيوتوني على فكرة القوة ، «سبب الحركات الحقة» ، أو بشكل أدق سبب التغيرات الحقة في الحالة الحركية للأجسام (إذ ، كما قد رأينا ، يظل جسم يتحرك حركة مستقيمة ومنتظمة على هذه الحالة دون وجود حاجة لأن تطبق عليه أية قوة) . لكن ما هو التغير «الحق» في رأي نيوتن؟ إنه تغير حركي يلاحظ لا بالنسبة لجسم مرجعية ما ، بل بالنسبة لجسم مرجعية متميزة ، يدعوها نيوتن المكان والزمان المطلقين .

وكمثال على ذلك ، لتصور أننا ننظر إلى حجر يهبط من سارية على سطح سفينة تتقدم في قناة مرفأ ، نستطيع تحليل حركة الحجر بالنسبة لخطوط أرضية سطح السفينة ودرجات سلم درابزين السفينة ، أو بالنسبة للشبكة المكونة من الكتل الحجرية التي تكوّن الرصيف . في الحالة الأولى ، نصف حركة السقوط على أنها حركة مستقيمة متسارعة بانتظام ، وفي الحالة الثانية سوف يترأى لنا أن الحجر يرسم مساراً بشكل قطع مكافئ . والحال هو أنه لا توجد في الحالتين سوى القوة الوحيدة عينها «الحقة والمطلقة» التي تشرح تغير حركة الحجر «الحق» : أي الثقالة ، سبب حركة الحجر الشاقولية .

والحركة الشاقولية التي نتحقق منها عندما نستعمل الرصيف كجملة مرجعية لا تعبر إلا عن انتقال السفينة النسبي بالنسبة للرصيف . وإنه لمن أجل الفصل بين الحركات الحقة ، التي سببتها قوة ، والانتقالات النسبية ، افترض نيوتن ، في بداية مولفة Principia ، وجود هذا الإطار الذي يتيح أن تُعلم بشكل مطلق حركات الأجسام الفيزيائية : «المكان - زمان المطلق الذي يجب أن لا يخلط بينه وبين المكان والزمان المفهومين بالمعنى الدراج» . فهذان المفهومان الأخيران هما ، كما شرح ، مرتبطان بجملة مرجعية خاصة يمكن أن تتحرك بشكل غير محسوس على الإطلاق بالنسبة للمكان المطلق (شريطة أن تكون حركتها هذه مستقيمة وذات سرعة ثابتة) أو أن تكون متزاحة في الزمان بالنسبة للزمان المطلق ، دون أن يكون ذلك ممكناً أن يبدو بأي حال من الأحوال .

هاكم والحالة هذه ، هذا المكان وهذا الزمان المطلقين اللذين أورثناهما نيوتن ، واللذين ترسخا ترسيخاً عميقاً في ثقافتنا إلى حد يصعب علينا معه أن ندرك جانبهما الإتفاقي والجزافي . لأنه ، إذا كان التصور النيوتوني لمكان ولزمان مطلقين ، ولا متناهيين ، وموجودين بشكل مستقل عنا ، وبشكل مستقل عن الأشياء المادية ، في الواقع مرحلة مفيدة ، وحتى ضرورية ، في بناء الميكانيكا

حول فكرة القوة، فإن هذه المفاهيم كانت غريبة على ذهن الفيزيائيين الذين سبقوا نيوتن؛ زد على ذلك احتاجت إلى المناقش فيما بعد مناقشة حادة^(١).

أما ما يتعلق بالطبيعة الحقيقية للقوة، فينوتن، الحضيف، أعلن بأنه لا يعرف شيئاً عنها («لا أخلق فرضيات»)، وأكد أنه يريد أن يكتفي بوصف نتائج القوى القابلة للملاحظة، الحركة ذاتها، ولا ريب في أن ذلك كان تعقلاً من جانبه. في هذه الأيام تصف نظرية الحقول الكوانتية القوى على أنها تجل لتبادلات جزيئات موجودة بالقوة^(٢) دائمة، جزيئات من صنف الـ «بوزونات»، بين جزيئات مادية، أو «فيرميونات»، ونستطيع بصواب أن نسلّم بأن طبيعة القوى الانطولوجية تبقى على شيء من الخفاء.

العنصر الزماني اللامتناهي في الصغر والسببية

أتم نيوتن، بكتابته قوانين الديناميكا وباستدعائه مفهوم القوة، خطوة جديدة إلى الأمام نحو شرح سببي للزمان. ومعادلة الديناميكا الأساسية، التي تعبر عن كون التسارع يساوي القوة المطبقة على جسم مقسومة على كتلته، تتيح لنا أن نتوقع ما سوف تكون عليه حالة جملة في لحظة قريبة قريباً لامتناهياً من اللحظة الحاضرة، بدءاً من حالتها الحالية، وهذا الحساب التفاضلي يمكن أن يكرر عدداً كبيراً من

(١) ربما كان نيوتن يستطيع في الواقع أن يكتفي بأن يصدر تعليماته بأن قوانين الميكانيكا كان عليها أن تسند إلى جملة مرجعية متميزة، الجملة التي تصوب محاورها نحو «النجوم الثابتة» دون تأكيد أي شيء عن وجود وأولوية المكان والزمان المطلقين. فما هو في الواقع المكان الخاوي، الذي يتحرك في الزمان، إن لم يكن مكاناً «متصوراً»؟ فأن نؤكد وجود وأولوية المكان على المادة، هو أن نفترض ضمناً بأنه يوجد كيان (جوهر) مفكر من أجل إدراك هذا المكان. كان سابقو نيوتن يناقشون بحدة موضوع معرفة ما إذا كان المكان والزمان يستطيعان أن يوجدوا بشكل مستقل عن العالم المادي، وكان ريكارت ما يزال يجاهر، قبل نيوتن بأربعين سنة، بأن «ما ندعوه زماناً ليس شيئاً، ما خلا دوام الأشياء الحقيقي، غير طويقة في التفكير».

(D escartes, les Principes de la Philosophie, I, 57).

(٢) نقول، في الفيزياء المعاصرة، أن جزيئاً هو جزيء موجود بالقوة عندما تكون الطاقة التي ينقلها لا تكفي لمنحه وجوداً واقعياً، أي ممكنة ملاحظته، مع كتلته الذاتية المميزة. فهو والحالة هذه يظل مكتوماً، إذا صح القول، في نسيج العالم، دون أن يبلغ سطح الظواهر.

المرات . وتتيح عملية الحساب التكاملي (التي اخترعها نيوتن وليبنيز بمعزل عن بعضهما) الانتقال من حالة الجملة الحاضرة إلى وصف حالتها في لحظة ما .
وغالباً ما اعتبر ظهور المعادلات التفاضلية بالنسبة للزمن في قوانين نيوتن للميكانيكا على أنها صك ولادة السببية في النظرية الفيزيائية ، لأنها تعبر بتعابير رياضية عن هذه الفكرة فكرة أن الحالة المستقبلية لجملة يمكن أن تعين انطلاقاً من حالتها الحاضرة . وسوف يكون هذا هو رأي ألبير أنشتاين بخاصة ، انشتاين الذي كان يجلس في شخص نيوتن مخترع السببية العظيم ، مع ذلك سوف نرى أن فكرة نيوتن السببية كانت لا تزال جداً مجردة . فأنشتاين ، سواء أراد ذلك أم لم يرد ، حولها ، بنقلة إياها ، في نظرية النسبية ، إلى سوية مبدأ إجرائي : فوفق هذا المبدأ ، لا يمكن أن يجر كل اضطراب في منظومة فيزيائية نتائج على منظومات فيزيائية أخرى إلا بعد مرور بعض الوقت ، الذي يكون لازماً لانتشار إشارة .

ما الذي بقي من أفكار نيوتن الرئيسية في هذه الأيام؟ إن الحياة الحديثة ، ومنظومتنا التربوية المؤسسة على قواعد الدقة والانتظام ، والتمارين المدرسية بخصوص الرسوم البيانية لسير القطارات ، والخرائط الجغرافية ، كل هذه الأمور ترسخ فينا ، منذ عهد طفولتنا ، فكرة جدّ نيوتونية عن المكان والزمان ، وهذا هو السبب الذي من أجله يصعب علينا كثيراً إدراك لا معقولة مسائل من قبيل : «ما الذي يوجد في ما يتجاوز حدود الكون؟» ، أو «ما الذي كان موجوداً قبل خلق العالم . أو قبل Big Bang؟» ونندهش لحداثة تفكير القديس أوغسطين الظاهرة ، إذ سبق أن كان يجيب على مثل هذه الأسئلة ، منذ ١٥ قرناً : «قبل السماء والأرض لم يكن يوجد زمان» . غير أن قليلين من بيننا يعرفون أو استوعبوا بالفعل الانتقاد الكانطي للمفهومين المكاني والزمني . فكانط صاغ بالضبط هذا النقد من أجل «تعيين حدود مجالي المعرفة والإيمان» ، ويخلص العلم من الافتراضات الميتافيزيقية ، ويحرر الهندسة من وصاية علم اللاهوت الذي كان نيوتن قد أخضعها في الواقع لها^(١) .

(١) شرح نيوتن في الـ Principia ، بأن المكان والزمان المطلقين بأنهما بمثابة نسيج غير محسوس يتدثر به الله ، أو به يتجلى . وفي تراسل بين كلارك وليبنيز ، عرض كلارك فكرة نيوتن وقارن إدراك الأفكار في ذهننا ، بإدراك الله للأشياء ووصف المكان والزمان المطلقين على أنهما «عضو» هذا الإحساس الإلهي .

بالنسبة لكانط، ليس المكان والزمان، في الواقع، أشياء في ذاتها، بل «مقولات ذهنية» أي شبكة تطريز Canevas نحملها في ذواتنا وتتيح لنا حل رموز العالم. ففي رأيه، لا توجد الأشياء «في ذاتها» لا في المكان ولا في الزمان. فالذهن الإنساني هو الذي يطبع، في فعل الإدراك ذاته، طباعة فوقية هذه المقولات الخاصة به والتي بدونها قد لا يكون الإدراك ممكناً، وذلك لا يعني حتى من أجل هذا أن يكون المكان والزمان وهمين أو اختراعين اعتباطيين من اختراعات ذهن الإنساني، إن هذه المقولات فرضت نفسها علينا في غضون تماسنا التجريبي بالطبيعة، وهي ليست، والحالة هذه، «اعتباطية». وإذا كانت لا تنتمي إلى الأشياء في ذاتها، فإنها لا تنتمي بدرجة أكبر إلى ذهن وحسب، بل إلى حوار ذهن والأشياء. إنها، في نهاية المطاف، التتاج الضروري للحركة نفسها، التي بها يفتش ذهن لاحتياز-لفهم-العالم الخارجي.

* * *

الفصل الخامس

الزمان في علم الطبيعة

بينما كان الفيزيائيون يستخلصون مفهوماً زمانياً صالحاً لتسهيل فهم ظواهر فيزيائية، كان البعد الزمني لعلوم الطبيعة يخرج هو أيضاً من علم الأساطير والتقريرية الدينية، فالتقريرية الدينية لم تكن تولي الزمان سوى سماكة منقوصة: ولم تكن القراءة الحرفية للتوراة، اللازمة حينذاك، تمنح العالم غير بضعة آلاف سنين وجود، وكان مفكرون، بقطعهم الصلة بهذه التقاليد، يقيمون العالم في زمان سحيق يمتد ملايين السنين.

من جهة تاريخ الأرض، إنه كان بخاصة عمل شارل لييل: فبالإنجازه عملاً للفكر خفياً ترتقي آثاره الأولى إلى أرسطو، معلّم بأسماء ليونارد دي فاشي ونيكولاستينون ورونيه ديكارت وجامس هوتون وآخرين أيضاً، رأى للمرة الأولى في وجه الأرض نتيجة عمل بطيء، يمتد على أدوار من آلاف القرون، وكان بخاصة أول من قدم أدلة عملية كي يدعم امتداد الزمن هذا.

من ناحية البيولوجيا، كان تكبير السلالم الزمانية عمل شارل داروين، معاصر ومريد وصديق لييل: فداروين الذي كان مسلحاً بمخطوطات لييل، قطع الصلة بالتقاليد الثباتية وبالأوصاف المورفولوجية الصرفة للينّي. وقد مدد الحدوس الأولى ليوّفون حول تطور الأنواع الحيوانية وأحل الزمان محل الجغرافيا (كمبدأ تصنيفي). وأخيراً، طور المصنف الشامل التاريخي الضخم الذي يصلنا، فيما يتجاوز الرئيسات الكبرى أولاد عمومتنا، بأكثر الشذيات بدائية وبالزواحف وقد أحدث لييل وداروين معاً انقلاباً تصوراً للعالم برمته، وفقه لا يكون هذا العالم غير مسرح أجد على عجل من أجل قدوم الجنس البشري. وكان وصول الإنسان المتأخر

وموضعه المتواضع في التاريخ العام ينسجم انسجاماً سيئاً مع علم أساطير مستوحى من الدين، ومتشبع بفكر إله خالقٍ بشري الصفات بشكل رهيب بنفاد صبره، كانت المقاومات عديدة وعنيدة.

الزمان الجيولوجي: من ليونارد دي فانسي إلى لييل

كان رجال الدين المتخصصون بالنصوص المقدسة، في عصر النهضة، يقدرون أن خلق العالم يمكن أن يرقى إلى ما يقرب / ٧٠٠٠ / سنة لا أكثر إلا ما ندر. فكر العلماء الأوائل الذين أرادوا شرح الهيئة الحالية للكرة الأرضية بمشاهدتها الطبيعية وطبقاتها الجيولوجية، في بداية الأمر، أن الأرض قد كانت على الحالة التي يرونها عليها منذ بداياتها، أي إما تكون قد خلقت على هذا الحال دفعة واحدة، أو أن تكون قد قولبت (شُكِلت) في أزمنة وجودها الأولى بفعل بعض الاضطرابات الفاجعة، وبخاصة بفعل الطوفان.

كان ليونارد دي فانسي رائداً عظيماً في الجيولوجيا، بمقدار ما كان رائداً في الفيزياء^(١). وقد برهن أنه، خلافاً للرأي العام في زمانه، لا يمكن أن تكون الأحافير البحرية التي نجدها في أراضي إيطاليا القارية من بقايا الطوفان، إذ أننا نصادفها في طبقات جيولوجية مختلفة ومتراكبة. وقد أسست ملاحظاته التحليل الخاص بعلم الطبقات الجيولوجية والجيولوجيا الوصفية. لكن إذا كان قد حصل عنده حدس للمدد الزمنية المديدة التي تتضمنها التشكيلات الرسوبية، فإنه لم يطور هذا الحدس بطريقة منهجية، ولم يقترح أي تأليف.

كتب توماس بورنيه، وهو رجل دين معاصر لنيوتن (تراسل معه مراسلة علمية)، في أعوام ١٦٨٠ نظرية مقدسة للأرض. وكان لا يزال، فيما يخص الزمان، متأثراً جداً بأسطورة الدائرية القديمة. وكان يتصور التاريخ العام على أنه «عام طويل» ابتداءً بالمسيح وربما يعود إلى المسيح^(٢)، مسروراً بكل أطوار دورة

(١) سبق أن أشرنا إلى أن ليونارد فانسي، اخفق لعدم وضعه الزمان في قلب أفكاره العلمية، في سبق غاليليه قرابة مائة سنة في اكتشاف قانون سقوط الأجسام.

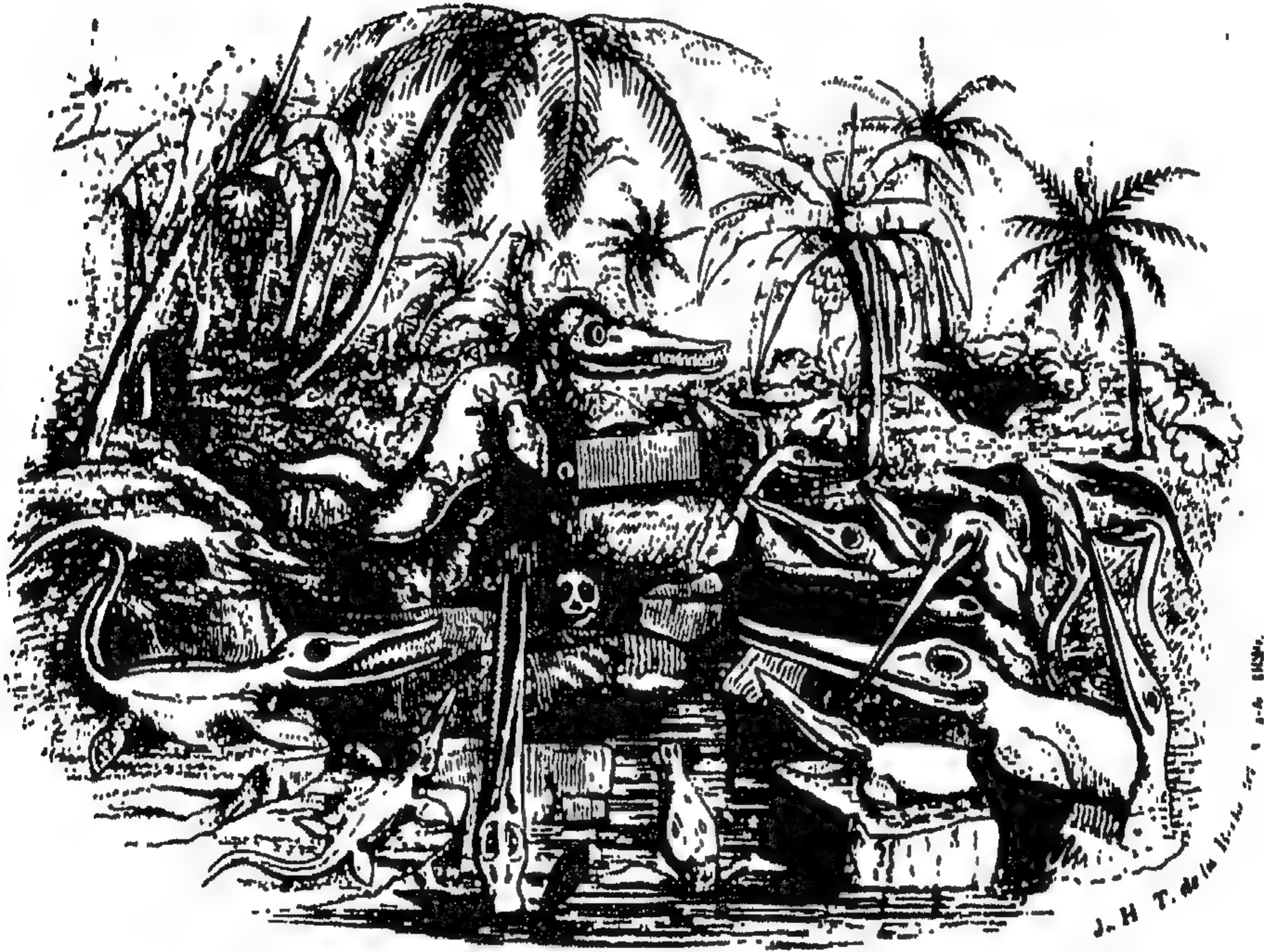
(٢) بالطبع، هذه الفكرة هي ثابت موجود بالفعل على الدوام في علم اللاهوت المسيحي. ألم يقل المسيح «أنا الألف والياء»؟

متناظرة. في رأيه، كانت الأرض في بداية الأزمنة، في حالة تناغم تام، وكانت كرتها ملساء ولا بارز فيها. وقد أفقدها طور فواجع مؤقتاً هذا المرأى الهادىء. والطوفان يحدد بداية الأزمنة الجيولوجية، وسوف تكون نهاية الأزمان محددة ببليّة أرضية خارقة، قبل عودة الأرض إلى التناغم التام الذي سوف يمهد لعودة المسيح المظفرة. إن مقارنة بورنيه تظل مثيرة للإهتمام، لأنها تشتمل في ثناياها مخططاً أولياً للزمان-صيرورة: لقد أكد بالفعل «أنه ربما لن يركن إلى الحكمة الإلهية ولا إلى عدالة أن يعود فيظهر على مسرح الأرض الحوادث نفسها والشؤون الإنسانية نفسها التي ربما يكون الطور السابق قد أدانها ودمرها».

يعزى لجامس هوتون (١٧٢٦-١٧٩٧) الفضل في إظهار عدم فائدة الاستعانة بالكوارث من أجل تبرير هيئة سحنة الأرض الحالية. وإذا كانت أسباب التحات المعروفة، البحر، والمطر، والرياح، والتجمد، والنشاط البركاني والزلازل الموضوعية، تمد تأثيرها على حقب زمانية كافية، على أدوار أطول بما لا يقدر من الأدوار التي تم أخذها بالإعتبار إلى حينه على أساس ما ورد في الكتاب المقدس، فإننا نستطيع فهم جيولوجيا الأزمنة الراهنة. إن تفكير هوتون يمثل بالتأكيد خطوة إلى الأمام بالنسبة لتفكير بورنيه، حتى لو كان وباللغزابة يرفض فكرة وجود اتجاه للزمان: إن الزمان وحده يُعدّ بالنسبة له، وتاريخ الأرض هو تاريخ نضال لا نهاية له بين القوى الحيوية (اللدينة) التي ترفع الجبال وبين القوى المدمرة التي تحتها.

ويُعرّ على غياب متجهة الزمان نفسه لدى شارل لييل، الذي يعتبر، بصورة عامة، على أنه الأب المؤسس الحقيقي للجيولوجيا الحديثة. وقد ابتكر لوحة كبرى للتاريخ الجيولوجي، جمعت مبادئه تحت تعبير الإنتظامية. كان يدافع عن الفكرة التي تقول بأن القوى الجيولوجية الراهنة كانت إلى حد كبير تكفي لتشكيل التضاريس الأكثر إدهاشاً، على شاكلة شعب كولورادو والكبير، شريطة أن يتاح لها الزمان. بيد أن لييل، باصراره على نفي الأطروحات التي تقول بالكاريثة، أراد أن يرى في شكل الطبقات الجيولوجية (التي جهزها بمدونة قريبة جداً من تلك التي لا تزال تستعمل في هذه الأيام) سيرورة عمياء، لا سبب لها ولا هدف، وبناء على

ذلك تكون معرضة لذلك تماماً لتغيرات في الاتجاه ولتراجعات إلى الوراء . كان يشيد بتلاؤم تام بين تاريخ الحياة وتاريخ البيئة ، وكان يفكر بأن أشكال الحياة تبدي تكيفاً كلياً من الشروط المناخية والجيولوجية السائدة . ولكونه ينفي اتجاه التحولات الجيولوجية ، لم يكن يرى للمآذا ربما تستطيع الشروط التي خمدت الآن أن تعود فتنج ، وفي مضماء هذه الفرضية ، أن تعود الأجناس وحتى الأنواع التي انقرضت إلى الإنبعاث . وذات يوم أهده أحد خصومه هذا الرسم اللاذع ، حيث ، في عهد مستقبلي ، ينكب «الاستاذ إيثيوزوروس» الذي يرمز إلى لييل ، بحنو على بقايا منقرص وبالتأكيد من مرتبة دنيا : هو الإنسان .



إن لييل كان قد فهم، في أثناء جولاته الجيولوجية، كل القسم الذي كان بالإمكان أن يستخلص من حضور أحافير من أجل تعيين تواريخ الطبقات الجيولوجية النسبية. وحيث أنه لم يكن يؤمن بمتجهة للزمان كائناً ما كانت متعلقة بازدهار شجرة الحياة، فإن ما يُستدل من حضور أحافير لم يكن يستطيع، حسب رأيه، إلا أن يكون إحصائياً: وحضور أو غياب هذا النوع أو ذاك ليس له، بالنسبة له، أية دلالة زمانية في ذاتها، لكن طبقتين جيولوجيتين تكونان بالأحرى متباعدتين في الزمان بحيث تحتوي إحداهما أقل نسبة من الأحافير المميزة للثانية.

لكن إذا كان لييل حقاً مجدداً عظيم الشأن، فليس وحسب لأنه منح الجيولوجيين منهجاً من أجل فهرسة مختلف الأحقاب الجيولوجية التي تتعاقب في تاريخ الأرض: والأحرى لأنه فهم، على غرار غاليليه، أهمية عامل الزمان كمبدأ شارح في العلوم الجيولوجية. إن إحدى الواقعات التي جعلت لييل يعي عظم الأحقاب الجيولوجية ويطء عملها حصلت في عام ١٨٢٨. ففي تلك السنة، زار لييل منطقة الأوفيرن؛ ولاحظ البراكين وعدة مستودعات رسوبية. وقد لاحظ في أحدها أن السجيل ينفصل إلى صفائح رقيقة جداً، نوعاً ما على شاكلة حروز النمو السنوية في مقاطع جذوع الأشجار. وتشكل هذه الصفائح صمامات قشريات صغيرة جداً من نوع Cypris، سلّم لييل بحق أن كل صفيحة تقابل رسوب سنة، وقد عد ما يقرب من ٣٠ صفيحة في سماكة ٢,٥ سم من السجيل، الذي يتكدس على ما يزيد على ٢٣٠ متراً. على هذا الحال، يجب أن تكون هذه التربة الحديثة التشكل نسبياً أن تكون والحالة هذه نتيجة ترسب بحري مستمر طوال ما يقرب من / ٢٧٦٠٠٠ / سنة.

ويحق لنا أن نعتقد بأن الصعوبات التي كانت تعوق حينذاك تطور الجيولوجيا كانت تأتي بالضبط، في معظمها، من امتناع تعيين تواريخ الطبقات الجيولوجية. ففي ذلك العهد، كان ممكناً وحسب، تأريخ نسبي للأحداث. ويجب أن لا ننسى أن مناهج التعيين المطلق للتأريخ يستند على قياسات إشعاعية، لم تكن معروفة حتى

عام ١٩٠٦ ، ونستطيع أن نقيم توازياً بين صعوبات إعداد الميكانيكا، الذي كبّحه غياب وسائل دقيقة لقياس الأزمنة القصيرة، واللجلجات المتأخرة في الجيولوجيا، التي وجب عليها انتظار القرن العشرين كي تجد أجهزة قياس المدد الزمانية الطويلة جداً التي تميزها^(١).

زمان الحي: من بوفون إلى داروين

إن تحليل المدد الزمانية المميزة لتطور الحي تكون بالطبع مقترنة اقتراناً وثيقاً بتحليل المدد الزمانية الجيولوجية. بيد أن تطور الفكر العلمي يوجد هنا متجمعاً في فواصل قصيرة نسبياً. وقد مثّلت المرحلة الأساسية ما بين نشر كتاب *Systema Naturae* الليني في عام ١٧٣٥ ونشر *Origine des especes*، لداروين في عام ١٨٥٩.

ويمثل كارل فون لينيّ المثال الأكثر نموذجية للثباتية: فذهنه يبدو كتيماً تماماً بالنسبة لسحر سلطة الزمان. فهذا العالم الكبير بالطبيعة طور عمله التصنيفي حول ملاحظات بالتأكيد دقيقة، لكنها مورفولوجية بشكل صرف، وتخلو من أي اهتمام بالتاريخ.

وقد كان خصمه الفكري في فرنسا هو جورج دي بوفون. فبوفون فضل أن يُحلّ محلّ معايير لينيّ المورفولوجية بشكل صرف، معايير بيولوجية. وبخاصة، عرّف الأنواع وفصلها وفق معيار الإلقاح المتداخل المعروف جيداً الآن. وإلى ذلك، سعى إلى تمييز صلات القربي بين الأنواع، ليس وحسب من خلال تشابهات مورفولوجية، بل من خلال معايير التجاور في المواطن الجغرافية. وشيئاً فشيئاً،

(١) إن النسبة المثوية لمختلف العناصر المشعة الحاضرة في الصخور القديمة تتيح بسهولة معرفة تكوينها. فالثوريوم ٢٣٢ له نصف-حياة يبلغ ١٤,١ مليار سنة، والأورانيوم ٢٣٨، يبلغ ٧١,٠ مليار سنة. وللبوتاسيوم ٤٠ (نصف-حياة يبلغ ١,٣ مليار سنة) ويستعمل في تأريخ الأحافيز القديمة. ومع أن للكربون ١٤ نصف-حياة قصيرة بما فيه الكفاية (٥٧٣٠ سنة)، يتشكل باستمرار في طبقات الجو العليا بواسطة الإشعاع الكوني، ويتيح أن نعرف بدقة كافية تاريخ توقف التبادلات بين العضويات الحية وبين الجو (بتعبير آخر موتها)، إذا كان ذلك لا يرقى إلى أكثر من ١٠٠,٠٠٠ / سنة تقريباً. وسوف نتعرض في الفصل ١٢ لتحليل الإشعاعية بما هي ظاهرة فيزيائية زمانية بشكل نموذجي.

استدرج بوقون إلى الاعتراف بدور الزمان في البيولوجيا؛ وقد سلّم، مثلاً، بأن التغيرات داخل نوع تُعزى إلى تأثير قوى طبيعية (مناخ، غذاء، بيئة). لكنه لم يكن قد غدا قادراً على أن يتخيل بالنسبة لتأثير هذه القوى المدة شبه اللامحدودة التي سوف يقدرها داروين بشأنها.

كان المؤسس الحقيقي لمذهب التحولية هو المركيز دي لامارك، الذي عارضه بشدة فيما بعد داروين. وقد وضع لامارك بالتأكيد الزمان وسلطته في مركز منظومته الفكرية. لكن إذا كان تاريخ العلم قد أبقى في هذه الأيام على اسم داروين بدلاً من اسمه باعتباره أبا المذهب التطوري، فقد كان ذلك جزئياً لأن داروين جمع، بمناسبة ملاحظاته على السفينة بيغل، حصاد براهين وأدلة واقعية كان يفتقر إليها رجل التفكير الإنفرادي والتأليف النظري الذي كان هو أخاه البكر. وفوق ذلك، وبخاصة، ينظر الجماعية العلمية، لم يكن لامارك حقاً من ذويه، لأنه بدلاً من أن يستدعي فقط أسباباً ماضية كان يسلم بتأثير سبب غائي عظيم، بتأثير قوة ملازمه للطبيعة وموجهة في الزمان.

كان نجاح داروين الكبير، بالفعل، في إقامته الدليل في نظرية التطور على قواعد ليست غائية، بتمسكه بقوى الصدفة العمياء تماماً وبالإصطفاء الطبيعي. ويجب والحالة هذه أن نرى في نجاح وشهرة ليّـل وداروين أكثر من صدفة: فالإثنان حارباً بضراوة فكرة وجود اتجاه في مصير الأرض والحياة، والإثنان استدعيا الصدفة باعتبارها سبباً نهائياً لما يبرز ظاهر مصير. ويظل هذا المخطط إلى الآن قوياً جداً في هذه الأيام: وباستدعاء الصدفة، ألّفـي واقع المسألة مذلاً، في النطاق الذي ربما تستحق فيه براعة الصدفة في تصنّع غائية، شروحاً أكثر تماسكاً من الشروح التي قدمت بصورة عامة.

على صعيد العلم البيولوجي، جعل داروين الزمان يجتاز مرحلة حاسمة حقاً. وقد كانت إحدى الفرص الباتة هي إقامته على السفينة بيغل في المحيط الهادي. ففي جزر غالاباغوس، اكتسب داروين القناعة بأن انعزال مستوطنات

طيور كانت قد جرّت إلى حيدان مورثاتي وإلى تكثير أنواع أقارب . وهذه الملاحظة باقترانها مع قراءة مبادئ الجيولوجيا للييل أوحى لداروين فكرة سلّم زماني ملاءم مع ظواهر الحيدان المورثاتي هذه ، والتي تكون غير محسوسة عندما تكون قيد العمل في الطبيعة الوحشية ، لكنها تكون مُسرّعة بواسطة ممارسة المربين (مربيي الحيوانات) . أخيراً ، بعد عودته إلى انكلترا ، في عام ١٨٣٨ ، أتاحت له قراءة دراسة حول المبدأ السكاني لالتوس بلورة التأليف الكبير لميكانيكيات الإصطفاء الطبيعي . وقد عبر في أصل الأنواع ، الذي نشر في عام ١٨٥٩ ، بوضوح عن ضرورة بطء عمل الطبيعة : «أسلم بأن الإصطفاء الطبيعي لا يأتي بتغيرات إلا ببطء ، ببطء شديد جداً ، وذلك في جزء صغير من سكان منطقة بعينها . وأعتقد ، من جهة أخرى ، أن هذه النتائج البطيئة والمتقطعة للإصطفاء الطبيعي تتوافق تماماً مع ما تعلمنا إياه الجيولوجيا عن المسار الذي يبدو أن سكان كرتنا الأرضية ، قد سلكوه ، في تحولاتهم المتتابعة» .



بالاختصار ، يبدو أن ثلاث سمات تميز لييل وداروين عن أسلافهم . بادىء ذي بدء ، قناعتهم الحميمة بأهمية الزمان باعتباره ثابتة Parametre شرحية في علوم الطبيعة . ويعدّئذ ، وفهمهما الصريح للإستعانة بأسباب غائية ، قضى بأنها مناهضة للعلم . وخلافاً لفكرة منتشرة إلى حدّ كافٍ ، نجد من جهة أخرى أن هذا الموقف لم يمله وضع جدلي تجاه الدين . فعندما أبحر داروين في سفينة بيغل كان لديه أمل خفي بأن ييسر التفسير الديني لتاريخ الحياة . وقد انزلق في آخر حياته نحو لأدرية غير مناضلة . وقد فكر لييل ، كمؤمن ، طويلاً (حتى عام ١٨٦٢) بأن الإنسان كان بمنجى من التاريخ الطبيعي ، وأنه قد كان «إضافة» معجزية في اللحظة الأخيرة .

أخيراً ، لقد استخدما هما الإثنان من أجل إقامة الدليل على قناعاتهما ، لاخطباً بلاغية ، بل أمثلة دقيقة ، كان ذلك هو الحال ، لدى لييل ، بالنسبة لتقدير مدد

الترسب ، كما كان ذلك هو الحال ، لدى داروين ، بالنسبة لدراسة تعدد أنواع الطيور في المستوطنات المنعزلة في المحيط الهادي .

وقد كان انعدام وسائل دقيقة ولا يمكن دحضها لقياس عمل الزمان البطيء على السلمين الجيولوجي والبيولوجي ، كما سبق أن أشرنا إلى ذلك ، عائقهما الحقيقي . إن إرنست هيكل ، النصير المتحمس وشبه المتعصب لداروين (ونستطيع أن نرتاب بأن لديه ، البواعث المناهضة للدين هي التي أثرت على موقفه ، بصرف النظر عن مزاياه العلمية) أشار أيضاً في عام ١٨٧٤ ، في مؤلفه **تاريخ الخليقة** إلى أن «علينا في التاريخ العضوي للأرض أن نعدّ لا بآلاف السنين ، بل بأدوار إحاثية و جيولوجية ، يتضمن كل واحد منها عدداً من آلاف السنين ، ومن المحتمل أن يكون ذلك عدداً من ملايين وحتى مليارات السنين . . . إن خيالنا لعاجز عن أن يتصور مثل هذه المدد الزمانية ، ونحن شأننا شأن عالم الفلك ، لا نملك قاعدة رياضية موثوقة ، من أجل أن نعبر بالأرقام ، حتى لو كان ذلك بشكل تقريبي ، عن طول وحدة القياس» .

* * *

الفصل السادس

الزمان والمكان

يُعتَقَد بشكل عام أن القياسات المكانية والقياسات الزمانية تستدعي تقنيات مختلفة ومستقلة . فالمصريون القدماء كانوا يجرون بسهولة قياسات مساحية بواسطة الحبال والمساطر ، لكنهم لم يكونوا يقيسون الزمن إلا بطريقة تقريبية بساعاتهم الشمسية وساعاتهم المائية . وفي هذه الأيام أيضاً، يبدو قياس الأطوال بواسطة مسطرة مدرجة، أكثر بساطة وأكثر واقعية من قياس فاصلة زمانية بواسطة مقياس الوقت . ومع ذلك، إذا ما نظرنا إلى الأشياء لا من زاوية الممارسات التقنية، بل في عمق التبريرات البدئية والدلالة الإبيستمولوجية للمفاهيم، فإن تفوق المكان هذا على الزمان ليس مؤكداً. وإن قياس المكان والزمان ليسا مستقلين وحسب، بل أيضاً، يبدو الزمان، من نواح عديدة، كمفهوم بدئي يجب أن يسبق امتلاكه مفهوم المكان.

على هذا الحال، عندما أراد عالم الفلك اليوناني أريستارك دي ساموس، في القرن الثالث قبل الميلاد، أن يقارن قدماً مداري الشمس والقمر بأبعاد الأرض، قاس قطر هذين النجمين الزاوي الظاهر . ويعتقد أنه قد قارن، من أجل ذلك، الزمان الذي يستغرقه كل من هذين النجمين كي يطلع ويغيب عند الأفق، والزمن الذي يستغرقه القمر كي يجتاز مخروط ظل الأرض عند الخسوف .

وفيما بعد، فصلت صعوبات قياس الزمان وتقدمات الهندسة المكان عن الزمان . وقد امتد تفوق المكان، الذي كرسه هندسيون مثل اقليدس وأرخميدس، حتى العصر الكلاسيكي، بيد أنه هُوجِم بعنف منذئذ . وفي ذلك، لا تلحق

تطورات العلم وحسب بالأفكار التي تنصب على ممارسة علماء الفلك القدماء الذين لا يزودوننا إلا بأمثلة مبعثرة، إنها تؤيد أيضاً معطيات علم النفس التجريبي، الذي ارتبط منذ مائة عام بدراسة تطور مفهوم الزمان لدى الطفل.

أولوية المكان أم أولوية الزمان؟

من الطبيعي أن نرى أن دراسة نماء مفهوم الزمان لدى الطفل يمكن أن تعطينا الوسيلة التي تحسم النقاش حول أولوية المكان أو الزمان، الذي عنه لا تأتينا المقاربة التاريخية إلا بدلالات مبهمة. ولسوء الحظ، تغدو الدراسة جد صعبة بوسائل علم النفس التجريبي، منذ أن تتشبت بالنظر إلى المسألة لدى حديثي الولادة والرضع، فهؤلاء لا يعبرون عن أحاسيسهم إلا بطريقة جد غير دقيقة! بيد أن ملاحظات عامة تكون مع ذلك ممكنة، ملاحظات تدافع لصالح أولوية الزمان لدى الطفل الوليد، حتى قبل أن يمتلك الإحساس بالمكان؟

على هذا الحال، يكون البكاء لدى حديثي الولادة مفسراً على أنه علامة على نفاد صبرهم في سعيهم للعثور على ثدي أمهم، لأن هذه التظاهرة تتوقف عند ملامسة الثدي، وعلى أساس ملاحظات كهذه، كان جون-ماري غويو يشير منذ عام ١٩٠٢ إلى أن «الزمان قد لا يكون في البداية، إذا صح القول، غير الفاصلة الواعية بين الحاجة وتلبيتها». وفي عام ١٩٢٨ زاد بيير جانيه فقال: إن المفهوم الزماني يبدأ، في رأيي، بأحاسيس جد بسيطة، تبدو منذ التغطيمات الأولى للنشاطات. إنها الجهود المختلفة. هناك بعض الجهود: جهد الإستمرار، جهد الإبتداء، جهد الانتهاء، التي توجد منذ قيام موجود حي بعمل شيء ما... وإنه لفي تلك اللحظة يظهر أول شعور بالزمان. وهو يتحسن... بتصرفات تكون قد غدت جد أكثر دقة: تصرفات الحضور، والغياب وبخاصة تصرفات الإنتظار». وما هو أقرب إلينا، كون پول فريس قد قدر أن «الإحساس الأكثر بدائية بالزمان يولد من خيبة ذات أصل زماني: فمن جهة لا توفر لنا الدقة الحاضرة تلبية رغباتنا، ومن جهة أخرى إنها تحيلنا إلى أمل مستقبلي (نهاية الانتظار، نهاية الفعل الذي بدأ)...

ويؤكد جون پياجيه أنه في البداية «يختلط الزمان بانطباعي الإنتظار والجهد، مع حدوث الفعل نفسه، المعاش داخلياً. على هذا الحال، فالزمان يملأ بالتأكيد كون (عالم) الطفل بأسره، لأن أي تمييز بين عالم داخلي والكون الخارجي لا يكون قد وهب بعد». لكنه لا يلبث أن يلاحظ بأن هذا الزمان المعاش لا يزال بعيداً جداً عن مفهوم الزمان المشترك، إذ لا يشتمل، على حد قوله، لا قبل ولا بعد واقعيين. ولا يتم إلا بعد ذلك بوقت طويل أن يفهم الطفل الزمان في اتجاهيته، حسب التعريف المقدم في مدخل هذا المؤلف. «في المرحلة الرابعة (٨-٩ أشهر إلى ١١-١٢ شهراً)، لاحظ پياجيه أيضاً، يغدو الطفل قادراً على البحث عن شيء اختفي عندما يكون قد رأى أنهم قد خبئوه تحت ستارة أو عندما تكون الستارة قد أتت لتحول بين الشيء وبين نظره، وهذا دليل على أنه قد فهم أن الأشياء تحافظ على هويتها ودوامها في الوقت الذي تنتقل فيه خلال الزمان. بيد أن هذه الأمثلة الواضحة عن الترتيب الزماني تتضمن الآن مفهوم شيء مكاني، من هذا القبيل، يصبح تكون الزمان منذ هذه المرحلة موازياً لتكون المكان.

ويظل تحليل الأحاسيس الأولية، وعلينا أن نسلّم بذلك، مؤسساً إلى حد بعيد على دلالات تفتقر إلى الدقة بما فيه الكفاية، وإن كانت قريبة من الحق، فهذه الدلالات تدلّ مع ذلك على أولية بدئية للزمان بالنسبة للمكان، يعقبها، في حياة الطفل، وضع (حالة) جدّ أكثر إرباكاً. ويبدو أن العلم الوليد قد سلك طريقاً شبيهاً بما فيه الكفاية. ومنذ العصور القديمة، وضعت، صعوبات قياس الزمان من جهة، وتقدمات الهندسة من جهة أخرى، بسرعة، الزمان بحيث يكون تابعاً للمكان (فأجهزة قياس الزمان تدلّ، في آخر المطاف، على تنقل معلم ما على مقياس مدرج). وسريعاً غدا تفوق المكان في ممارسة الفنون والعلوم، الذي كرسه تطور الهندسة، صارخاً، وقد امتد حتى الثورة الغاليلية.

وما هو مفارق، أن تشدد، هذه الثورة التي كان معناها العميق هو إعادة إدخال الزمان في قلب التفكير النظري، أيضاً أسبقية المكان. إن الزمان يوجد

بالتأكيد في قلب النظرية الجديدة . لكن كيف نقيسه؟ كيف نجعل منه مقداراً قابلاً للقياس وقابلاً للتكميم؟ إن النظرية تجيب والحالة هذه : بواسطة المسافة المقطوعة . ولكي نجعل من المسافات المقطوعة العلامات الواقعية لجريان الزمن ، نستعمل مبدأ العطالة الجديد كل الجدة ، الذي ينص على أن الأجسام تقطع في حالة غياب أية قوة فاعلة بخط مستقيم مسافات مكانية متساوية في أزمنة متساوية .

بالطبع ، من حيث التطبيق ، لم يستعمل هذا المبدأ أبداً بشكل مباشر من أجل قياس الزمان . فلا غاليليه ولا خلفاؤه تخيلوا أو صنعوا مقياسات تستعمل الحركة المستقيمة لجسم تحت التجربة . محرر من أية قوة ، مقياسات نقرأ عليها الزمان بواسطة زلاقة تدل في كل آن على الطريق الذي قطعه هذا الجسم . لتأمل مع ذلك تأكيد غاليليه : بأن مسار كروي تهبط عن طاولة بسرعة أفقية غير معدومة هو قطع مكافئ . فزي معنى عميق يُعطى لهذا التأكيد إن لم يكن هو كون المسافة المقطوعة الأفقية قياساً للزمن الذي مرّ ، وبالقياس إليها نستطيع أن ندرك مباشرة التسارع المنتظم للحركة الشاقولية؟ إن غاليليه تصور جيداً مقياسات ذات رصاص ، وبناها خلفاؤه ، مقياسات يستتبع تشغيلها ضمناً صحة قوانين الديناميكا بصورة عامة ، وصحة مبدأ العطالة بصورة خاصة ، وأن يوضع الزمان ، كما فعل غاليليه ، في قلب الديناميكا كان هو الخطوة الحاسمة التي تتيح تأمين تماسك ودقة آلات ميكانيكية لقياس الزمان ، كما كان أيضاً هو تبرير استعمال قياس الزمان القديم ، المرتبط بدوران الكرة السماوية : فانتظام هذا الدوران ، يتوقف هو الآخر ، على صحة مبدأ العطالة ومبادئ الميكانيك الأساسية ، عندما تطبق على دوران الأرض .

حالة مثالية : تحديد موقع سفينة (نقطة بحرية)

من بين أمثلة القياسات الفيزيائية ، يوضح تعيين خطوط الطول بشكل تام تعقد القياسات المكانية والزمانية . فالزمان يستعيد هنا قيمته البدئية ، إذ تفقد في عرض البحر القياسات المكانية طابعها المباشر : إذ لا يعود التعليم بالنسبة لطوارئ المشهد الطبيعي وقياس المسافات المقطوعة بخيط المساح أمرين ممكنين . فبالنسبة

لنقطة البحرية ، يكون المقدار الذي نبحث عنه هو مكان ، في حين أن المعطى المعلوم هو زمان .

ومنذ أن أتاح اختراع البوصلة الإستغناء عن المعالم الساحلية ، استعاد بحارة أواخر القرون الوسطى الإستعمال القديم ، الذي أدخله في قديم الزمان بطليموس ، الذي يركز على تعليم المواضع الجغرافية على الخرائط بواسطة خطها العرضي وخطها الطولي^(١) .

خط الطول هو الزاوية التي يجب تدويرها حول محور الأرض ونحن نتقل على دائرة موازية لخط الإستواء (دائرة عرض) حتى نلتقي بخط الهاجرة المرجعي ، أي خط باريس أو غرينوتش . إنه أيضاً الزاوية التي يجب أن تدور بها الأرض حول محورها حتى يكون الموضع الذي نوجد فيه قد أعيد إلى المستوى المار بمحور الأرض وشمس الظهيرة في الموضع المرجعي . وأن نقيس هذه الزاوية يعني والحالة هذه ، أن نقيس الفرق الزمني الشمسي الحقيقي بين الموضع المعتبر والموضع المرجعي . كيف والحالة هذه يقاس الاختلال بين السلمين الزمنيين ؟ تكفي مقارنة دلالات الميقاتية الموضعية ، المضبوططة على الظهيرة عند مرور الشمس في خط الهاجرة ، بدلالات رقيب الزمان للموضع المرجعي ، الخاص بباريس أو غرينوتش .

إن الطريقة الأولى التي طرحت منذ القرن الثاني عشر كانت تركز على ملاحظة موقع القمر على كرة النجوم الثوابت والإستناد بعدئذ إلى تقويم فلكي لمعرفة الساعة الموافقة للموضع المرجعي . لكن هذه الطريقة (المدعوة طريقة المسافات القمرية) لم تكن تستطيع أن تطمح إلا إلى دقة بدائية ، بسبب القدر الظاهري للقمر وقربة النسبي ، الذي يضلل في قياس اختلاف المنظر . وقد أدخلت طريقة فلكية علمية ، أكثر نجاعة في حوالي عام ١٦٧٠ ، أدخلها كاسين ، الذي كان

(١) هذه الممارسة كان تطبيقها قد أهمل في القرون الوسطى . وقد كان جغرافيو ذلك العهد يرسمون الخرائط بواسطة قياسات مسافية والسموت بين نقاط معلومة ، الأمر الذي كان يمنحهم هذا المكان الخاص جداً في شكل بيت العنكبوت ، وقد استلزم اختراع البوصلة وجسارة البحارة المتزايدة التخلص من عمليات المسح ومن مسجلات السرعة في السفن من أجل العودة إلى تعيين خطوط العرض وخطوط الطول مباشرة .

يستعمل الميقاتية العامة (الكونية) التي تؤمنها احتجاجات أحد توابع المشتري الدورية .

ويعزى أول اقتراح لاستعمال رقيب زماني يُحمل على السفن ويضبط على ميقاتية غرانويتش أو باريس كي يتيح في كل آن مقارنة الساعة الموضعية بساعة خط الهاجرة المرجعي (وبالتالي تحديد وضع السفينة) إلى صانع الميقاتيات جيماً فريزيوس ، ونقرأ في مذكرة كتبها بخط يده في عام ١٥٥٣ ، فعلاً : « قبل أن تمضي في سبيلك ، اضبط بعناية ساعتك على ساعة البلد الذي سوف تغادر ، وركز كل انتباهك على مسألة عدم توقف ساعتك في الطريق . وعندما تكون قد سرت في طريقك بهذا الشكل ، حدد ساعة الموضع بواسطة الإسطرلاب ؛ قارن هذه الساعة بساعتك ، فتحصل على خط الطول . » . بيد أن دقة ميقاتيات ذلك العهد لم تكن تتيح التفوق على الطرق الفلكية التي سبق أن وصفناها . وحتى بعد إدخال النواس وبناء الميقاتيات البحرية الأولى على يد هويغنز بعد عام ١٦٦٠ ، ظلت الأخطاء في تعيين خطوط الطول غير مقبولة : فقبطان المركب هولمز ، ارتكب أيضاً ، وهو يجرب نواصات هويغنز في عام ١٦٦٩ عند قطعه / ٥٥٠٠ / كم في جميع الاتجاهات ، خطأ قدره / ١٥٠ / كم في تحديد وضع السفينة ، عندما قدم نفسه لدى عودته قاصداً جزر الرأس الأخضر . من ثم بلا شك أتى تفضيل البحار جان غونووين ، دي لاروشيل ، في القرن السابع عشر ، للميقاتيات الرملية كرقيب زماني للبحرية .

وقد حصل نيوتن ، رئيس الجماعة الملكية ، في عام ١٧١٤ ، من البرلمان الإنكليزي على تنظيم مسابقة حول الأساليب التي تتيح قياساً أدق لخطوط الطول ، مكافأتها / ٢٠,٠٠٠ / جنيه استرليني للمخترع الذي ربما يتيح تقليص الخطأ في تحديد وضع السفينة إلى ٣٠ ميل (٤٨ كم) . وقد تبنت أكاديمية العلوم الباريسية اقتراحاً مماثلاً في عام ١٧١٨ .

لم تتأخر النتائج : وقد انصبت التقدمات على التعليق ، وميكانيكيات موازين الساعات ، والرقاص ، ونابض الجذب وبخاصة على تصحيحات تغيرات درجات الحرارة ، إن هذه المسابقة على التطوير التكنولوجي ، حيث اشتهر في القرن الثامن

عشر جون هاريسون وبييرلوروا وقيرديناند بيرتود، أتاحوا تحديد مبادئ مقاييس الوقت البحرية التي تتيح تعييناً جيداً لخط الطول. وقد تجاوزت دقة تحديد وضع السفينة الدرجة الواحدة (٦٠ ميلاً) منذ عام ١٧٣٢، ونصف الدرجة في حوالي عام ١٧٦٠.

بهذا الشكل غدت المسابقة لتحقيق دقة الساعات البحرية العامل الحاسم من أجل تحسين موضوعة السفن في البحر. وتمنح الساعات البحرية الكوارتزية، في هذه الأيام، دقة بحيث لا يعود الخطأ في تحديد السفينة (وهو ميلان بحريان تقريباً) محدوداً بالمحافظة على الزمان المرجعي، بل بتعين الزمان الموضعي بواسطة السدسيات. وهذا الخطأ الذي نادراً ما يكون مزعجاً بالنسبة للملاحة البحرية التجارية، غير مقبول بالنسبة لتعيين مواقع المراكب الجوية، من حيث المبدأ، يركز تحديد الموقع على طائرة على المناهج ذاتها المستعملة في حالة السفينة. ومع ذلك نادراً ما يمارس هذا القياس الآن. ففي معظم الأحيان بعين موقع الطائرات والسفن انطلاقاً من شبكة مرسلات أمواج كهربائية لاسلكية على الأرض موقعها الجغرافي معلوم تماماً، أو أيضاً انطلاقاً من أقمار اصطناعية تحوي على متنها مقياسات ذرية^(١).

التقنية الراهنة تؤكد من جديد أولوية الزمان

بهذا الشكل تكون مناهج تعيين المسافات الحديثة انطلاقاً من الزمان قد أتاحوا تقدمات كبيرة من حيث الدقة، وبالنسبة لتقنيي هذه الأيام، يكون الزمان واقعياً أكثر من المكان، لأن المقياسات تكون أكثر دقة من المساطر المدرجة.

(١) إن الفاصلة الزمنية التي تفصل بين تلقي إشارتين على متن سفينة أو طائرة أرسلتا في اللحظة نفسها (زمان عام متناسق) من محطتي وضع معلوم تتيح معرفة حساب الفرق في المسافة بين المتلقي ومحطتي الإرسال. والمحل الهندسي لمثل هذا الفرق هو قطع زائد. فإذا كررت العملية بوساطة مزدوجة أو عدة مزدوجات مرسلات، نستطيع أن نحدد بدقة موقع المحطة المستقبلية. فممنظومة، مثلاً تستعمل ٣ مرسلات متباعدة من ٥٠٠٠ / إلى ٦٠٠٠ / ميلاً. واستعمال مقارنات طوريه للأصداق يتيح جعل دقة الموضوعة تبلغ ٥، ١ أو ١ ميلاً، ومنظومة نافستار، قيد التطور الآن سوف تستعمل عند اكتمالها شبكة من ١٨ قمر اصطناعي تغطي الأرض بأكملها كل منها مجهز بمقياس ذرية مواعته، وسوف تتيح بلوغ دقة موضوعة من عدة أمتار.

إن المناهج المؤسسة على استخدام مرسلات تستلزم أن نعرف سرعة انتشار الإشارات المستعملة . وقياس التفاوت الزمني بين تكة إرسال ورجوعها بعد انعكاسها على الشيء الذي نريد أن نقدر مسافته يشكل في الوقت نفسه مبدأ الرادار ، عندما تكون الإشارة المرسله واقعة في مجال الأمواج القصيرة ، وقياسات المسافات باللازر ، عندما تكون واقعة في مجال الأمواج المرئية ، والسونار الخاص باستعمال أمواج صوتية ، ويمثل قياس التفاوت الزمني بين إرسال فلاش (ومضة ضوئية) ورجوعها بعد الانعكاس على حاجز المنهج الأفضل من أجل تعيين دقيق لمسافة (البعد) هذا الحاجز . وبفضل الإستعمال المشترك لللازر وللميكانيات الذرية الذي يتيح قياسات لا تتجاوز الاختلافات فيها واحد على مليار من الثانية ، حققت الدقة بصدد مسافات الأشياء البعيدة ، كسطح القمر ، تقدمات مذهلة ، وقد قلصت الرتبة بالنسبة لهذه المسافة ، التي كانت عدة عشرات من الكيلو متر في حوالي عام ١٩٥٠ ، إلى عشرة سنتيمترات بفضل اقامة عدة عاكسات على سطح القمر وبمقدار ما كنا نحفظ بمعايير متغايرة بالنسبة للمسافات وبالنسبة للمدد الزمانية ، فإن الارتباب في المسافات المقاسة كان يرتبط بدرجة أقل بالارتباب بمدة مسير الإشارة منه بالارتباب بسرعة الضوء .

ومنذ انعقاد المؤتمر العام للأوزان والمقاييس ، في تشرين الثاني من عام ١٩٨٣ ، قُضي على هذه الصعوبة الأخيرة ، فمن أجل التخلص من هذه التحديدات المقترنة بالارتباب بقيمة سرعة الضوء ، قرر المؤتمر فعلاً تعديل منظومة الوحدات الدولية ، وقد أتاح هذا التعديل تحديد قيمة اصطلاحية لسرعة الضوء ، اختيرت مساوية ٢٩٩٧٩٢٤٥٨ م/ في الثانية . وبالمقابل قرر المؤتمر التخلي عن تعريف كل معيار طولي وعدم الحفاظ إلا على المعيار الزمني ، المعروف بواسطة تواتر إشعاع الكايسيوم . وبناء على هذه القرارات ، فقد المتر قانونيته كوحدة أساسية ، ولم يعد منذئذ غير المسافة التي يقطعها الضوء في ١ / ٢٩٩٧٩٢٤٥٨ من الثانية .

إن النتائج النظرية والعملية لهذه التعديلات كانت مهمة جداً . فالوحدة الطولية الطبيعية هي بدرجة أقل المتر ، الذي ورثناه عن التقاليد القديمة التي ترجع

هذا المعيار إلى محيط الأرض أو إلى قضيب من البلاتين، مما هي الثانية - الضوئية أو مضاعفها السنة - الضوئية، التي استعملها علماء الفلك منذ زمن طويل، والتي غزت الآن كل مجالات الفيزياء. فالمكان والزمان، لكونها مقترنين من الآن فصاعداً اقتراناً ثنائي الجانب بواسطة الثابت الفيزيائي C (سرعة الضوء)، فإن الدقة النسبية بخصوص القياسات الطولية تصبح بفعل الواقع ipso facto جيدة الدقة في قياسات الزمان.

ومع ذلك تشير المنظومة القياسية الجديدة صعوبة: فهي تحول من حيث المبدأ دون فحص تغير افتراضي في سرعة الضوء في غضون العهود الكوسمولوجية. فصلاحيه قوانين الميكانيكا، الضامنة لدقة آلات قياس الزمان الميكانيكية، تنطبق أيضاً على الميقاتيات الذرية. وصدق هذه الميقاتيات الذرية تعتمد على صلاحيه قوانين الميكانيك الكوانتي وعلى استقرار السويات الطاقة الذرية، الذي طرح دوامه كمسلمة، وعليه، فإن التعريف الجديد للمتر يفترض إضافة إلى ذلك ثبات قيمة الثابت C (سرعة الضوء)، ولكي تحافظ هذه التعاريف على تماسكها خلال العصور، يجب التسليم إما بأنه لا يطرأ على قوانين الميكانيك والسويات الطاقة الذرية من جهة، وسرعة الضوء من جهة أخرى، أي تغير خلال القرون، وإما بأن تظل هذه التغيرات خلال القرون، إن وجدت، متناسبة فيما بينها باستمرار. بيد أن هذه التحفظات، الضامنة لتماسك التعاريف، ليست في الواقع إلا مصادرات، مسلم بها قبلياً. إن عواقب عدم صحة هذه المصادرات المحتمل ربما سوف تكون غير ملحوظة على السلم البشري، إذ قبل قرار مؤتمر الأوزان والمقاييس لم يمكن أن يتضح أي تغير قرني. بالمقابل، يمكن أن يكبح تبني هذه المصادرات (إن لم تقابل حقيقة خالدة) يشكل مفرد تفسير المعطيات الكوسمولوجية بالنسبة لإعادة بناء تاريخ الكون وتوقع مصيره.

* * *

الجزء الثاني

النظرية النسبوية للزمان السببي

الفصل السابع

سرعة الضوء محدودة

كان القدماء يعتقدون أن الضوء كان ينتشر على الفور، وقد كان هيرون، وهو فيزيائي يوناني عاش في القرن الأول الميلادي، أول من أبدى رأياً أكثر تفرداً. كان يتمسك بشأكيده أن سرعة الضوء يجب أن تكون كبيرة جداً لدرجة لا نستطيع معها قياسها. لكن هذا الموقف الحصيف لم يمنع كافة علماء العهود القديمة تقريباً، والقرون الوسطى وحتى عصر النهضة من أن يعتقدون بالانتشار الفوري للضوء، وكان لا بد من صدف ملاحظة فلكية دقيقة، قادها الفلكي الدانماركي أولوس رومير لأغراض تقنية حتى يقتنع هذا العالم الفلكي بالطبيعة المحدودة. والقابلة للقياس التي تتصف بها سرعة انتشار الضوء. ولكون الرؤية هي الوسيلة الرئيسية لاتصال الإنسان بالعالم، كان من شأن هذا الإكتشاف أن يؤثر تأثيراً عميقاً على نظرية المعرفة. إنه في الواقع فتح الطريق إلى انقلاب في تصوراتنا الإيستيمولوجية عن الزمان: فالضوء، بدلاً من أن يكون جوهرأ، أو طريقة في ربط الحوادث فيما بينها، كان يغدو قبل كل شيء طريقة في ربط الحوادث بالملاحظ بوساطة الرؤية.

السعي بحثاً عن ميقاتية عامة (كونية)

رأينا أن تعيين خط طول، من أجل تحديد مواقع السفن أو من أجل معرفة الإحداثيات الأرضية لموضع، يتطلب مقارنة الساعة الشمسية بالساعة الشمسية لموضع مرجعي، وبمقدار ما كنا لا نمتلك ميقاتيات قابلة للنقل ودقيقة دقة كافية، كانت ساعة الهاجرة المرجعية تُحسب اعتماداً على موقع القمر في السماء، بالمقارنة مع جداول تقويم فلكي، بيد أن هذه الطريقة كانت تتطلب كثيراً من التصحيحات

المملة . غير أن الطبيعة توفر وسيلة أكثر دقة من أجل مقارنة ميقاتيتي مرصدين متباعدين : انخساف توابع المشتري الدوري . ففي الإرتياب فيما يتعلق بدقة ميقاتية مرصد يحتفظ بزمان خط الهاجرة المرجعي ، يكفي أن ندون الساعة التي تحصل فيها مثل هذه الظاهرة وأن نقارنها بالساعة التي لوحظت فيها الظاهرة في غرينويتش أو باريس : فنحصل بهذا الشكل على التصحيحات التي يجب أن تجرى على دلالات الميقاتية الموضعية .

هذا هو شأن مبدأ المنهج الجديد الذي قرر تطبيقه إيراسم بارتولان ، استاذ الفيزياء في جامعة كوبنهاغن ، ومريده رومير وجون بيكارد (الأكاديمي الفرنسي الذي قاس طول خط الطول الأرضي وعبر بهذا الشكل مصير أعمال نيوتن) من أجل تعيين الموقع الجغرافي الدقيق لمرصد هقين في الدانمارك ، المرصد الذي استعمله فيما مضى تيخو براهي .

كان تابع المشتري الذي اقترحوا استعماله كميقاتية دليل (شاهد) هو التابع Io ، الأقرب من هذا الكوكب من بين أربعة توابع اكتشفها غاليلي ، ولكونه مرئياً تماماً بواسطة منظار ضعيف الإستطاعة ، نرى أنه يغوص بانتظام (كل ٤٢ ساعة ، و ٢٨ دقيقة ، و ٣٦ ثانية) في مخروط ظل الكوكب . وقد أجرى ، والحالة هذه ، علماء الفلك الثلاثة في هافن سلسلة ملاحظات للتابع Io ، في حين كان عالم الفلك الفرنسي كاسيني يجري الشيء نفسه ، في باريس ، التي كانت حينذاك تلعب الدور الذي نسب لاحقاً إلى غرينويتش ، وقد دون كل فريق ساعات الانخساف المتتابعة وفق دلالات الميقاتية الموضعية المضبوطة على الظهيرة حين تكون الشمس في الأعلى .

وقد أظهرت الملاحظات التي تمت ، على ما يبدو ، انتظاماً كبيراً في ظواهر انخساف Io . وربما كان ينبغي والحالة هذه أن نستطيع ترتيب رزنامة عن ذلك (أزياج فلكية) في شكل قائمة تتوقع تواريخ وساعات ظهور هذه الظواهر للمرصد المرجعي ، وربما لن يعود الأمر يحتاج إلى استشارة مرصد هذا الموضع ، بل فقط إلى

الرجوع إلى الأزياج، وقد كلف كولبير علماء الفلك لرصد باريس بترتيب الجداول التي نحن بصدددها، كما دعا كاسيني رومير للمجيء للانضمام إليه في ذلك لمتابعة ملاحظاتهم.

بهذا الشكل اكتشفوا في عام ١٦٧٥ عدم انتظام في الفاصلة المقاسة بين خسوفين: فالدور يتغير في الواقع دوماً في غضون السنة، بما يزيد قليلاً على ثانيتين بالنسبة لقيمتة الوسطية، ويكون أطول عندما تبتعد الأرض عن المشتري، وأقصر عندما تقترب منه، وفي أوقات الإقتران أو المقابلة، عندما تنتقل الأرض انتقالاً عمودياً على الخط الذي يصل النجمين، يبلغ الدور قيمته الوسطى.

وقد اقترح رومير أن يكون تأخر خسوف Io بمقدار ٤, ٢ ثانية عندما تبتعد الأرض عن المشتري ممثلاً للزمن الذي تستغرقه الضوء في قطع المسافة التي اجتازتها الأرض بين خسوفين^(١).

كان ذلك الشرح جريئاً في عهد كان فيه فكر أرسطو وفكر ديكارت يمارسان تأثيراً عميقاً على المجتمع العلمي الباريسي. إذ إنهما كان بالفعل يُعلّمان ما مفاده أن الضوء ينتشر على الفور، وقد رفض كاسيني لكونه متأثراً بهذه المحاكمات الباطنة اتباع حدس رومير الشاب واستمر بلا جدوى في البحث عن شروح أخرى.

أعلن رومير، في أيلول من عام ١٦٧٦، لأعضاء أكاديمية العلوم المتشككين، أن خسوف Io المتوقع أنه سوف يحصل في ٩ تشرين ثاني من العام نفسه سوف يكون ملاحظاً بتأخر قدره ١٠ دقائق بالنسبة لقوائم الأزياج التي أعدت على أساس الملاحظات التي تمت عندما كان المشتري والشمس متقابلين. وفعلاً، بينما يبتعد المشتري والأرض عن بعضهما، يجمع التابع Io لا محالة، خسوفاً بعد خسوف، ثواني تأخر بالنسبة لبرنامج الأزياج، وقد بلغ، التأخر المتجمع حقاً عشرة الدقائق المتوقعة، في ٩ تشرين ثاني.

(١) بالفعل، يجب أن تقابل الفاصلة الزمنية بين ملاحظتين للأرض الزمن الواقعي بين خسوفين متتاليين Io، مضافاً إليه الفرق الزمني الذي يستغرقه الضوء كي يجتاز المسافة بين المشتري والوضعين المتتاليين للأرض.

إن رومير حسب أيضاً بأن الضوء ربما يستغرق ٢٢ دقيقة (التأخر الكلي خلال نصف سنة) لكي يجتاز قطر المدار الأرضي، أي ضعف المسافة بين الأرض والشمس، وهذه المسافة كانت قد بدأت تصبح معلومة بدقة كافية بحيث يستنتج رومير منها قيمة سرعة الضوء: وقد وجد بهذا الشكل أن الضوء يقطع قرابة $40,000$ / فرسخاً في الثانية، أي $225,000$ / كم. إن قيمة هذا التقدير الضعيفة جداً تتعلق بصورة رئيسية بالخطأ الذي ارتكب في حساب الزمن الذي استغرقه الضوء في قطع قطر مدار الأرض، الذي لم يكن في الواقع غير ثلاثة أرباع القيمة التي كان قد أشار إليها رومير.

لم يقض الشرح الذي كان يقترحه، فيما يخص الظاهرة التي اكتشفها كاسيني وهو نفسه، على قناعة علماء الأكاديمية. فبعداً عن قوة التقاليد وتأثير علماء الفلك القدماء والحديثين، كانت لا تزال باقية صعوبة من مرتبة تجريبية توقعها ديكرات، فلو كانت سرعة الضوء محدودة، فآنذاك ربما يكون لازماً أن يتغير الاتجاه الذي نلاحظ فيه النجوم «الثوابت»، في أثناء السنة. وبالفعل، ربما يكون علينا، من أجل الحصول على الاتجاه «الظاهر» لنجم، أن نركب سرعة الضوء وفق الاتجاه «الحقيقي» لهذه السرعة مع سرعة انتقال الأرض^(١). وحيث أن شعاع سرعة الأرض على طول مدارها يغير اتجاهه كل ستة أشهر (ليعود فيأخذ القيمة نفسها كل سنة)، فإن اتجاه ملاحظة النجوم، المعلم في منظومة مرجعية ثابتة مربوطة بالشمس، ربما يتغير بشكل دوري، ففي عام ١٦٧٥، لم يكن علماء الفلك في الأكاديمية قد أدركوا أن قيمة «انزياح النجوم» هذا كانت جد صغيرة بحيث لا يمكن أن تتوضح بواسطة الأجهزة التي كانوا يمتلكونها، وقد حاول بعض علماء الفلك، وكان ابن كاسيني منهم، ملاحظة ذلك، لكن جهودهم كلها ذهبت أدراج الرياح.

وفي عام ١٧٢٥، برهن عالم الفلك جامس برادلي وجود الانزياح، وحدد

(١) ظاهرة تركيب السرعة هذه عادية جداً ومألوفة. فهي، مثلاً، تسلك بحيث تبدو قطرات المطر لشخص عداء كأنها لا تهطل شاقولياً، بل مائلة أكثر فأكثر، في مواجهته، بمقدار ما يزيد من سرعته الأفقية الخاصة. وهي أيضاً تسلك بحيث يبدو اتجاه الريح على سفينة شرعية سريعة مختلفاً عن اتجاهه على الأرض اليابسة (البر).

قياساً له دقيقاً دقة كافية ، بفضل قطاع سميتي كبير بقياس ٤ أمتار بني لهذا الغرض .
وقد أظهرت الملاحظات التي تمت بواسطة هذا الجهاز أن النجوم ترسم على القبة
السماوية قطعاً ناقصاً سنوياً قطره الكبير يغطي مسافة زاوية قوسها ٤٠ ثانية .

لم تؤكد قياسات برادلي الطابع المحدود لسرعة الضوء وحسب ، بل أتاحت
أن نقدم لها تعييناً جديداً ، مستقلاً عن الأول : فقد القطع الناقص هو فعلاً مقترن
مباشرة بالزمن الذي يستغرقه الضوء لقطع قطر مدار الأرض ، وقد كانت القيمة التي
وجدناها برادلي بالنسبة لهذا الرشح من الزمان ، كانت ١٦ دقيقة بدلاً من الـ ٢٢ دقيقة
التي أشار إليها رومير ، الأمر الذي يقود إلى تحديد سرعة للضوء تقرب من
/ ٣٠٠,٠٠٠ / كم في الثانية .

إن علماء الفلك في باريس ، وقد اقتنعوا أخيراً بهذا الدليل الجديد ، أبدوا بعد
الوفاء الاحترام والإعتراف بالفضل لرومير : وقد علقت لوحة تذكارية في المكان
الذي كان يحاضر فيه !

كان لاكتشاف محدودية سرعة الضوء ، في القرن الثامن عشر ، نتائج هامة
فيما يتعلق بتصورات عن المكان والزمان ، وكان ذلك الصدمة الأولى ضد زمان
نيوتن المطلق ، خطوة أولى نحورجوع إلى اسبقية الزمان الموضعي ، فقد تعلمنا أن
نميز بين التاريخ الذي تدرك فيه حادثة والتاريخ الذي تحصل فيه بالفعل وقد بدأ
الفلكيون الشعبيون يتفكرون بصدد آلات ترجع القهقري في الزمان . وقد كتب ،
في القرن التاسع عشر ، كاميل فلاماريون ، الأكثر شهرة من بينهم ، في مؤلفه - La
men القصبة الخيالة عن رحالة قذف في المكان بسرعة / ٤٥٠٠٠٠ / كم في الثانية ،
« حيث أنه كان مجهزاً بمنظار فلكي ذي استطاعة قوية ، كان يرى الحوادث تجري
على الأرض بالقلوب ، تماماً كما يحصل لفيلم ملفوف بالعكس ، وتظهر نظرية
النسبية لاحقاً بطلان مثل هذه الأحلام ، حيث أن أية رحلة تفوق سرعتها سرعة
الضوء هي أمر ممتنع . بيد أن فكرة نسبية القياسات المكانية والزمانية ، المؤسسة على
محدودة سرعة إنتشار الإشارات الضوئية ، كانت قد وجدت قبلياً متضمنة في
كتابات هذه التقاليد الروائية الخيالية ، التي دشتها اكتشافات رومير .

الفصل الثامن

أنشتاين والنسبية

إن الزمان والمكان ليسا وحسب مقترنين من خلال ممارسة قياسهما . إن معلّمة الأحداث بواسطة پاراميترات (نابئات) مستقلة عن المكان والزمان نفسها ، مثلما كان قد اقترحها نيوتن ، تستوجب في الواقع جانباً جزافياً كبيراً جداً ، خاصة بعد اكتشاف محدودية سرعة الضوء ، كان يجب أن يعاد طرحه للبحث . وهذه المعلّمة تفترض بالفعل أن يكون الزمان هو هو في كل مكان وأن يجري بشكل منتظم بالنسبة للجميع وفي كل المواضع ، وبشكل متناظر ، وأن تكون القياسات المسافية بين نقطتين متماثلة دائماً ، مهما كانت الشروط الواقعية لقياسها . لكن ما هي الشروط الواقعية لقياسات الفواصل الزمانية والمكانية ؟ وكيف نستطيع أن نتأكد بأن الزمان يجري حقاً بالطريقة نفسها بالنسبة لجميع الملاحظين ؟

رأينا كيف أن اختراع ، ثم تحسين الميقاتيات ، كان يتيح مشرّكة ، إجماعية الزمان المعاش . وطالما كان الأمر أمر تجارب من الحياة الواقعية ، مختبرة في موضع بعينه ، يسهل الحصول على وفاق فيما يتعلق يتواريخ وساعات الأحداث المعينة . لكن الأمر على غير ذلك عندما يكون المقصود قياسات دقيقة في إطار تجارب علمية ، بين ملاحظين متباعدين ومن باب الإحتمال متحركين بعضهم بالنسبة للبعض الآخر .

وقد كان أنشتاين هو من يعود الفضل إليه في إعادة النظر في أمر البناء الذي أقامه نيوتن ، النظرية الفيزيائية المؤسسة على فك الإقتران بين المكان الديكارتي والزمان المطلق والعام . لقد أثبت بالفعل الإمتناع العملي لتواقت ميقاتيات عندما تكون متحركة بعضها بالنسبة للبعض الآخر مهما بلغ من ضعف هذه الحركة . وقد

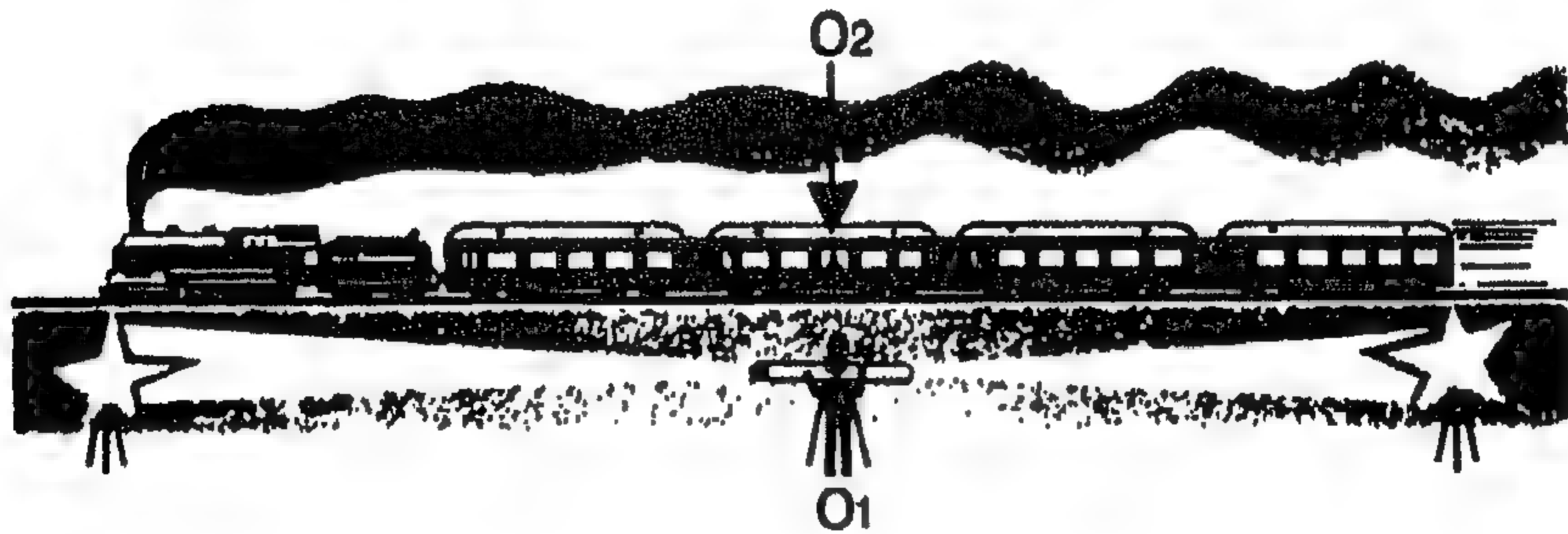
وضع في وضوح النهار، بهذا الشكل، الطابع الجغرافي لمخطط نيوتن الزماني العام. وحينذاك تمسك بإعطاء دلالة إجرائية دقيقة للمفهوم الزماني، وبالتالي بإعادة تعريف التواقت (الحدوث معاً) باستدعائه عمليات فيزيائية بحتة (قراءة دلالة ميقائية، قياس مسافي بواسطة مسطرة، نقل إشارات تنتشر بسرعة معينة). وقد فتحت الطريقة الجديدة في المعلمة وترتيب الحوادث في العالم التي نتجت عن ذلك، حينذاك، الطريق إلى تطوير بناء جديد للنظرية الفيزيائية، إلى النظرية النسبية.

إعادة جعل الزمان النيوتوني موضع خلاف

تروي نكتة أن أنشتاين، منذ أن بلغ عامة السادس عشر، كان قد أصبح يتفكر، عندما كان طالباً في ثانوية آرو، في المسائل التي تطرحها محدودية سرعة الضوء. ساءل نفسه عما ربما سوف يحدث، لو عنَّ له، وهو في مركب سريع جداً، أن ينظر إلى نفسه في مرآة، في ذلك العهد، كنا نعرف أن الضوء هو اهتزاز كهرباطيسي، وكنا نتصور حامل هذا الاهتزاز على أنه مادة دقيقة وغير وازنة كنا ندعوها الأثير. وكنا نفترض بأن الأمواج كانت تنتشر في الأثير (بسرعة C ، أي سرعة الضوء)، شأنها شأن تموجات سطح مستنقع، بفضل اندياحات متتابعة في سطح الماء. كان يعتقد، بأن متحركاً كان يستطيع، وهو ينتقل بسرعة كبيرة جداً، بالنسبة للأثير، أن يلحق بجبهة موجة الضوء، وحتى أن يتجاوزها. كان أنشتاين يعتقد والحالة هذه، أنه في الحالة التي تخيلها، إذا ما أبقى على المرآة في اتجاه حركة المركب الكوني، فسوف يستغرق الضوء المرسل زماناً أكبر فأكثر كي يبلغ المرآة، كلما كانت سرعة مركبة متقرب من سرعة الضوء C ، وكان أنشتاين يعتقد، بأن الصورة التي يلقاها، ربما سوف يكون لازماً أن تنفصل عنه هو نفسه بالتدريج، من هذا القبيل أنها ربما سوف تمثله، لا في اللحظة الحاضرة، بل في وضع سابق، وإذا كان المركب ينتقل بسرعة الضوء بالنسبة للأثير الساكن، فإن الصورة سوف تختفي لا محالة، إذ أن المركب ربما سوف يرتحل حينذاك والأمواج الضوئية معاً، الأمواج الضوئية التي ربما سوف تصبح منذئذ، في كنف المركب، أمواجاً مستقرة.

إن أنشتاين تابع ، بدءاً من تشرين أول ١٨٩٦ ، دراسته في معهد البولتيكنيك في زورنخ . ولكونه كان يهمل في معظم الأحيان تعليم أساتذته الرئيسي ، درس لوحده أعمال ماكسويل ولورنتز حول الكهرومغناطيسية . وقد كانت تأملاته ، التي لم تكن عديمة الصلة بتساؤلاته الأولى حين كان طالباً ثانوياً ، كانت تنصب على صعوبات النظرية ، عندما نطبقها على أجسام متحركة . وبعد كثير من التردد انتهى به الأمر بأن اقتنع أن مفتاح الصعوبات الوحيد كان يكمن في مراجعة المفهوم الزماني النيوتوني . ووفق ذكرياته الخاصة ، أتته هذه الفكرة بشكل مفاجئ إلى حدٍ كافٍ ، إثر محادثات مع صديقه ميكيلو نجلوبيسو ، في غضون شهر أيار من عام ١٩٠٥ : «خطر لي أخيراً أن الزمان كان هو المشكوك فيه . . . فالزمان ليس معروفاً بشكل مطلق بل على اتصال لا ينفصم بسرعة انتشار الإشارات .» . ومن المرموق أن يكون أنشتاين ، بهذا الشكل ، بناء على ما قام به غاليليه ، قد تبين من جديد أهمية المفهوم الزماني الأساسية بالنسبة لبناء نظرية فيزيائية .

تستطيع ، من أجل توضيح الأسباب التي دفعت أنشتاين إلى التشهير بالطبيعة الجزافية للمفهوم الزماني النيوتوني المطلق ، أن ننوه معه بتجربة فكرية بينة بوجه خاص . لتصور قطاراً يسير بسرعة معينة على سكة حديدية . تسطع لمعتان بمحاذاة السكة في نقطتين متباعدتين . فالـ «حسن المشترك» يوحى ، بمعيار التوافق (الحدوث معاً) التالي : إن اللمعتين تكونان متواقيتين إذا أدركتا في اللحظة نفسها في النقطة O1



الواقعة في وسط الطريق بين حاملتي اللمعتين على السكة . فملاحظ على السكة يستطيع بالفعل أن يتحقق بسهولة أن اللمعتين متواقتان حقاً بالنسبة له ، باستعماله هذا التعريف . لنحدد الآن مقصورتَي القطار اللتين توجدان بالضبط في مواجهة حاملتي المَعَتين في اللحظة التي تسطع فيها اللمعتان . ولتكن O_2 نقطة القطار التي تحدد الوسط بين النقطتين السابقتين . هل إن مسافراً جالساً في O_2 في القطار سوف يرى هو أيضاً، اللمعتين في اللحظة نفسها؟ كلا : إنه سوف يرى اللمعة الواقعة في الاتجاه الأمامي للقطار قبل أن يرى اللمعة الواقعة في الاتجاه الخلفي ، لأنه ينتقل مع القطار لملاقاته اللمعة الأولى وعلى العكس يبتعد عن اللمعة الثانية في الوقت نفسه الذي ينتشر فيه الضوء الذي تصدره هاتان النقطتان .

بهذا الشكل ، ألا تجعل محدودية سرعة انتقال الإشارات الضوئية المستعملة في التأريخ الواقعي للحوادث على بعد تبني تعريف للتوقيت لابس فيه أمراً ممتنعاً . إن بطلان الإقترح النيوتوني لزمن مطلق ، يكون هو هو بعينه بالنسبة لجميع المنظومات المرجعية ، يغدو جلياً .

حول إلكترو ديناميكا الأجسام المتحركة

أن نلاحظ بأن أنشتاين لم يتعرض على الفور لانتقاد المفهوم الزماني بل عندما احتاج إلى تفكير معمق حول موضوع تقني ، أمر لا يخلو من الأهمية : والموضوع التقني يخص بعض الأوجه المفارقة للديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة . فوفق النظرية الكلاسيكية ، يمكن أن يكون لتيار كهربائي بعينه محرض في جسم ناقل متحرك سببان مختلفان ، من طبيعة كهربائية أو مغناطيسية ، وفقاً لجملة الإحداثيات المختارة من أجل وصفه . وقد قاد التفكير حول هذه المسألة المحددة أنشتاين إلى أن يعيد جعل الزمان النيوتوني موضوع خلاف ، مثلما اقتيد غالبليه إلى انتقاد النموذج الهندسي لشرح الفيزياء بصدد مسألة سقوط الأجسام .

في أثناء إقامة أنشتاين في پوليتكنيك زوريخ ، كان لقراءته كتاب أوغست فويل الذي عنوانه مدخل إلى نظرية ماكسويل الكهربائية أهمية حاسمة على اتجاه

تفكيره . فأنشتاين اندهش من اللاتناظر الذي أبقت عليه نظرية ماكسول في معالجة أمر التيار المحرّض في ناقل متنقل نسبياً بالنسبة لحقل مغناطيسي .

ليكن لدينا حلقة نحاس ومغناطيس . لنمسك بيدنا حلقة النحاس ولننقلها أمام المغناطيس الموضوع على الطاولة ، أو العكس لنمسك المغناطيس بيدنا ولننقله أمام حلقة النحاس الموضوع على الطاولة ، فالتجربة تظهر أنه يتجلى في الحالتين تيار «محرّض» في حلقة النحاس . ولهذا التيار بالطبع القيمة نفسها في الحالتين ، شريطة أن تكون الاتجاهات والسرعة النسبية للجسمين هي بعينها . والحال ، هو أن شرح الظاهرة ، وفق نظرية ماكسويل ، تختلف في الحالتين ، فللتيار المحرّض سببان مختلفان ، حسبما يكون الناقل ينتقل في حقل مغناطيسي ثابت (وفي مثل هذه الحالة يعزى التيار إلى انحراف الجزيئات المشحونة الحاضرة في الناقل والمتحركة معه ، بفعل الحقل المغناطيس) أو أن يكون المغناطيس المسؤول عن الحقل المغناطيسي هو الذي ينتقل أمام حلقة النحاس الثابتة (وفي مثل هذه الحالة يُعزى التيار لظهور حقل كهربائي محرّض يفعل فعله على شحنات الناقل الثابتة) . وتتوقع النظرية بأن يكون للتيار القيمة نفسها في الحالتين ، بيد أن هذه النتيجة تبدو على أنها ظرف طارئ ، إذ يتعلق الأمر بمفعولي سببين في مثل هذا التيارين .

والحال ، هو أن النظرية النسبية تحل هذه المفارقة التي لا تشرحها نظرية ماكسويل . فالحقل المغناطيس والحقل الكهربائي لا يعودان فيها معتبرين على أنهما مقداران من طبيعة مختلفة ، بل على أنهما مسقطان أو وجهتا نظر خاصتان عن مقدار وحيد ، هو الحقل الكهربائي . على النحو نفسه الذي يتوقف فيه طول وعرض الجسم الظاهران على الزاوية التي ننظر إليه ضمنها ، والحقل المغناطيسي والحقل الكهربائي يتعلقان بالمرجع الكيفي المختار الذي بالنسبة إليه تكون الأجسام ساكنة أو متحركة .

مصادرتا النسبية الأساسيتان

كان كل مدى تفكير أنشتاين بخصوص قيمة سرعة الضوء المحدودة

وحركات الأثير بالنسبة للأرض والمنابع الضوئية والأوجه المارقة
للألكتروديناميكا، يكمن في توحيد هذه العناصر (الكهرطيسية ومبدأ نسبية
الحركة) في منظومة نظرية متماسكة.

إن أنشتاين، بفتحة الباب لتعريف جديد للزمان في علاقاته مع المكان، كان
قد أدرك مباشرة أنه ربما يستطيع أن يبقى على معادلات ماكسويل في صيغها
الحصيفة، التي تثبت قوانين الكهرطيسية وتتوقع ثبات سرعة الضوء في جميع
الجمل العلمية العطالية. وقد اعتبر حينذاك هذه الخاصة على أنها نتيجة لا تمس،
وطرح كمبادئ أساسية لكل نظرية فيزيائية مستقبلية المصادرتين التاليتين :

- مصادرة النسبية : إن مفهوم السكون المطلق النيوتوني، أي السكون بالنسبة
لمكان مطلق، لا أساس له لأنه لا يقابل شيئاً ممكنةً ملاحظته. ولا تمتلك الظواهر
الألكتروديناميكية أو الميكانيكية أية خاصة تتطابق مع هذه الفكرة. ومفهوم الأثير
اللازم من أجل تجسيد هذا السكون المطلق في حالة الأمواج الكهرطيسية، غير
مُجدٍ، ويمكن والحالة هذه أن يتم التخلي عنه.

- مصادرة ثبات سرعة الضوء : إن سرعة الضوء مستقلة عن حركة منبعها،
كما تتوقع ذلك صراحة نظرية ماكسويل.

إن هاتين المصادرتين ربما تكونان، في إطار الزمن المطلق النيوتوني،
متعارضتين فيما بينهما. بالفعل، يدل القانون الغاليلي في تركيب السرعة على أنه،
إذا كانت سرعة المنبع المقاسة في منظومة الأثير الساكن (منظومة في حالة سكون
مطلق) هي c ، حينذاك يجب أن تكون سرعة الضوء الصادر، المقاسة في المنظومة
المرجعية نفسها، $c + v$. هذه القاعدة، المستعملة ضمناً، تقود إلى النتائج الغريبة
التي توقعها أنشتاين اليافع عندما كان يتخيل أنه ينظر إلى مرآة في مركب سريع
جداً. فالتوفيق بين المصلدتين السابقتين يتطلب والجمالة هذه مراجعة مبادئ
الميكانيكا القاعدية. وهي مراجعة ممكنة في النطاق الذي يكون فيه الاختيار الذي
حدده نيوتن من أجل تعليم الحوادث في المكان والزمان كفيًا ويمكن أن يكون معدلاً

بطريقة ملائمة . وفي الواقع ، تفرض المصادرتان بصورة دقيقة ووحيدة الشكل الذي يجب أن يتخذه هذا التعديل : الشكل المقونن في «تحويلات لورانتز» .

والمصادرة النسبوية بحصر المعنى ، التي تدين إليها نظرية أنشتاين باسمها ، هي أولى المصادرتين المنصوصتين أعلاه . والأمر في الواقع هو أمر مدّ طبيعي لمصادرة النسبية الغاليلية ، التي وفقها لا نستطيع أن نكشف ، بواسطة تجربة ميكانيكية ما ، ما إذا كانت حركة المختبر الذي نحري فيه هذه التجربة مستقيمة ومنتظمة بالنسبة لـ «مكان المطلق» (الذي يجسد عادة بمنظومة مرجعية مرتبطة بالنجوم الثوابت) . إن المصادرة النسبوية توسع النص السابق ليشمل جميع التجارب الفيزيائية ، سواء كانت من طبيعة ميكانيكية أو كهروإطيسية .

تمدد الزمان وتقلص الأطوال

منذ أن يفقد الزمان طابعه المطلق ، يمكن أن يتعلق قياس فاصلة زمانية بين حادثتين بمنظومة الإحداثيات المستعملة كمعلم . بالفعل ، كنتيجة مباشرة لتحويلات لورانتز ، لا يُقَيّ لا على القياسات الزمانية ولا على القياسات المسافية عندما تنتقل من جملة معلمية عطالية إلى جملة معلمية أخرى متحركة حركة انسحابية بالنسبة للأولى .

والفاصلة الزمانية التي تفصل بين حادثتين حصلتا على التتابع في النقطة نفسها تكون أكبر في الجملة المعلمية الثانية : وذلك هو تمدد الأزمنة . وهذه الخاصة المرموقة لم يتم التحقق منها تجريبياً للمرة الأولى إلا في عام ١٩٣٨ ، عندما برهن أن مدة حياة الجزيئات غير المستقرة التي تنقلها الأشعة الكونية (بسرعة قريبة من سرعة الضوء) كانت أطول كثيراً ، عندما تكون مقاسة في المختبرات الأرضية ، مما تكون حينئذ تلاحظ هذه الجزيئات نفسها في حالة السكون .

من جهة أخرى ، تكون المسافات المقاسة على أشياء في حالة سكون في الجملة المعلمية الأولى أطول مما تكون حينئذ تكون مقاسة في الجملة الثانية : إن تقلص الأطوال ، هو ما يشرح نتيجة التجارب السلبية كتجارب ميكلسون

ومورلي^(١). وقد عرض أنشتاين في مقاله المؤرخ في حزيران ١٩٠٥ في مجلة Annalen der Physik، مفارقة الكتروديناميكا النواقل المتحركة وانتقد مفهوم التوافق في الميكانيكا النيوتونية. لقد نص مصادرات النسبية وبرهن معادلات تغيير الإحداثيات اللورونتزية^(٢)، بتطبيقها على تمدد الأزمنة وتقلص الأطوال، كما على امتناع أن يبلغ جسم في حركته سرعة الضوء. بذلك تم التوفيق بين الميكانيكا والألكتروديناميكا، وانفتح الطريق من أجل النص، بعد ذلك بعدة أشهر، على التكافؤ بين المادة والطاقة^(٣): $E=mc^2$. أي الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

السببية المنتشرة

إن نصوص أنشتاين حررت، في مقال حزيران من عام ١٩٠٥، بشكل يبدو أنه يحد من مداها الإييستيمولوجي. إنه رفض مفهوم السكون المطلق، لكنه لم يكن قد كتب بعد بأن شكل معادلات الفيزياء يجب أن تظل هي هي بعينها في جميع الجمل العلمية العطالية. وقد أكد ثبات سرعة الضوء، لكنه لم يقد بأي إرجاع إلى أية سرعة حدية لنقل الطاقة في الخلاء، أو لنقل معلومة. وقد اكتفى بعرض تقني للنتائج التي تم الحصول عليها على قاعدة مصادرتي النسبية، في اتصال بالكتروديناميكا الأجسام المتحركة بخاصة.

في الواقع، في عام ١٩٠٥، لم يكن يبدو بعد أن أنشتاين كان قد أدرك تماماً الطبيعة الحقيقية للثورة التي أدخلها للتو، فنقد مفهوم التوافق (الحدوث معاً) يعتمد على انتشار إشارات ضوئية ومصادرة النسبية تضع انتشار الضوء في مركز النظرية الفيزيائية لكن لماذا جعل سرعة الضوء تلعب مثل هذا الدور في وصف

(١) كان هدف تجارب ميكلسون ومورلي هو أن يرضحوا بواسطة التداخل بين حزمين ضوئيين تنتشران صانعتين فيما بينهما زاوية قائمة، اختلاف مسار ضوئي بين الحزمتين، وفق الميكانيكا النيوتونية ينبغي أن يدخل مثل هذا الاختلاف في المسار الضوئي بالضرورة بين ذراعي المقياس التداخلي، منذ أن يكون هذا المقياس غير موجود في حالة سكون مطلق.

(٢) تميل صيغ تحويل الإحداثيات في النسبية الخاصة اسم لورنتز لأنه كان قد سبق أن اقترحها قبلاً، لكن على أسس خاصة ad hoc وليس باشتقاقها من مصادرات النسبية. وكان أنشتاين يجهل عمل لورانتز هذا، في عام ١٩٠٥.

(٣) العلاقة الشهيرة $E=mc^2$ ، التي تثبت أن كل كتلة في حالة سكون هي مخزن طاقة هائل، والعكس أن لكل طاقة كتلة قابلة لأن تخضع للجاذبية العامة، هي نتيجة أخرى لتحويلات لورانتز، أثبتها أنشتاين في عام ١٩٠٧.

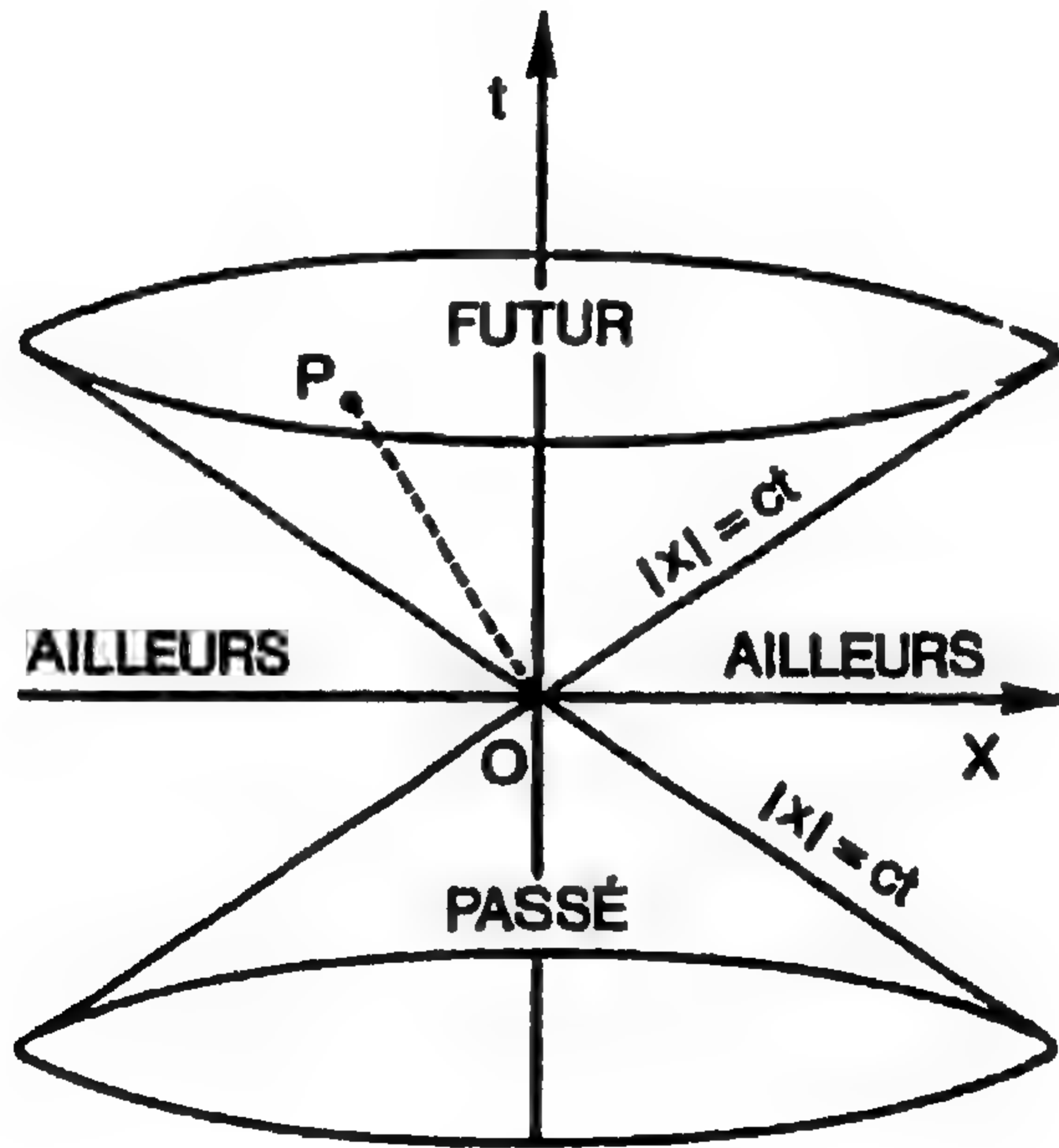
الطبيعة؟ وما هو أصل هذا الإستبداد المزعوم، المدعم بعدياً *a Posteriori* بواسطة النتيجة المنصوص عنها التي وفقها تكون سرعة الضوء سرعة حدية لا يستطيع أي جسم مادي أن يبلغها، إذ ربما كان الأمر سوف يحتاج إلى صرف طاقة لانهائية لإبلاغه إياها؟ هل سوف يقال بأن كامل تجاربنا تقريباً يتوسط فيها النظر واستخدام الأشعة الضوئية؟ إنه شرح غير كافٍ: فالفيزياء التي قد طورها شعب من العميان ربما سوف تكون بدون أدنى شك من حيث الشكل كفيزيائنا ذاتها. لا بد والحالة هذه من أساس آخر لتفوق سرعة الضوء.

إن كثيرين من الإيبستيمولوجيين يقدرّون أن أنشتاين قد أدخل في الواقع، في عام ١٩٠٥، نظرية فيزيائية حجر المحك فيها هو نموذج السببية المنتشرة بالسرعة *C* (سرعة الضوء). وفي نظرية النسبية، الزمان هو معلم (ثابتة *Parametre*) يتيح أن نعنون بترتيب متزايد النقاط - حوادث التي تجمعها سلسلة سببية أو قابلة لأن تكون سلسلة سببية. إن تغيير نمط تعليم الحوادث في الزمان وفي المكان بشكل يتفق مع تحويلات لورانتز هو نتيجة هذا الترتيب المطلق الذي تنظمه السببية المنتشرة. فالنظرية النسبية هي إذاً نظرية سببية للزمان.

في الواقع، لم يكن أنشتاين نفسه هو من خطا الخطوات الأولى على هذا الطريق، بل هيرمان مينكوفيسكي، أستاذه القديم، فمينوفيسكي نشر، في عام ١٩٠٧، موضوعاً عنوانه هو «المعادلات الأساسية للظواهر الكهروإطيسية للأجسام المتحركة» وألقى، في السنة التالية، محاضرة مبدئية عن «الزمان والمكان». أطلق فيها تعيناً استفزازياً: «يا سادة، إن الأفكار عن المكان والزمان التي أبغى عرضها أمامكم تم جذورها في الفيزياء التجريبية... من الآن فصاعداً، يجب أن يكون المكان بما هو مكان والزمان بما هو زمان معتبرين على أنهما باطلين، في حين أن اجتماع هذين العاملين وحده يحافظ على قيمته^(١)».

(١) هيرمان مينكوفيسكي، «المكان والزمان»، محاضرة ألقاها في كولونيا، في عام ١٩٠٨، وأعيد نشرها في: *Ann, des Phoyes*, 1915, 47:997 والجملة المشار إليها يمكن أن تبدو بحق مبالغاً فيها. فالمفهوم الزماني الخالص الذي يحدد تحرك منظومة، ملاحظاً في جملة معلمية تكون بالنسبة إليها هذه المنظومة ساكنة، يكفي لتحديد كل نوعية الزمان بالنسبة للمكان.

إن مينكوفسكي بعد أن كان قد أدخل شكلياً المكان-زمان ذا الأبعاد الأربعة (حيث يكون البعد الرابع هو الزمان المحول إلى مكان بفضل ثابت التحويل C)، قسم هذا المكان-زمان إلى قطاعات تدعى «ماضي»، «مستقبل» و «ما بقي من المكان-زمان». وحدها حوادث الماضي يدركها ملاحظ موضوع في المبدأ، وهذا الملاحظ لا يستطيع أن يمارس تأثيراً إلا على الحوادث الواقعة في المستقبل-والحوادث التي تتخذ مكاناً لها في «ما بقي من المكان-زمان» لا يمكن أن تكون معلومة من جانبه، ولا متأثرة به.



أظهر مينكوفسكي أنه، إذا ما كانت القياسات الزمانية والمكانية تتغير عندما تنتقل من جملة إحداثيات عطالية إلى جملة أخرى، فإن مسافة عرفها على أنها الـ «المسافة الكونية»^(١) تظل بالمقابل ثابتة. والمسافة الكونية بين نقطتين - حادثتين واقعيتين على المسار الضوئي نفسه تكون معدومة. وبالنسبة للملاحظ، تكون النقاط - الحوادث الواقعة في الماضي أو في المستقبل على مسافة كونية (ذات مربع) سالبة. ونقاط «ما بقي من المكان- زمان تكون واقعة على مسافة كونية موجبة، على هذا الحال، ألا يعين، في النسبية، استخدام الإشارات الضوئية، بما هي حاملة ممكنة لتأثيرات سببية، بنية الكون.

في عام ١٩٠٥، كان أنشتاين بعد نشر مقاله ببعض الوقت، قد انحاز بخصوص مسألة السببية، قبل التعميم الذي اقترحه مينكوفسكي وهذا هو ما يظهره تبادل المراسلات مع فيليب فرانك، الذي كان قد نشر للتو موضوعاً عنوانه «سببية ومعرفة»: «دوّن فرانك حول هذا الموضوع، كان أنشتاين متفقاً معي، بأنه مهماً يمكن أن يحصل في العالم، لا نستطيع أبداً أن نبرهن أن قانون السببية قد انتهك. ونستطيع دائماً أن ندخل اصطلاحاً مصطلحاً بحيث يظل هذا القانون صالحاً. لكن ربما سوف يكون ممكناً أن تصبح بهذه الطريقة لغتنا ومفرداتنا معقدة أعظم تعقيد وقليلة الملاءمة».

إن النظرية النسبية تستجيب لمسألة إنقاذ مبدأ السببية، يضاف إلى ذلك، أنه الجواب الوحيد الوافي بالمرام في حالة سببية منتشرة في الخلاء بسرعة C (سرعة الضوء). وذاك هو ما من أجله يحل بعض المؤلفين في هذه الأيام صياغة أخرى محل نص مصادرة النسبية الثانية، كما نجد لها في موضوع أنشتاين لعام ١٩٠٥: ففيه تحل سرعة انتشار الإشارات الحاملة إعلاماً محل سرعة الضوء. فمن جهة، يعمم هذا الإبدال الصياغة الأصلية، في النطاق الذي نستطيع فيه أن نتصور تأثيرات منتشرة ربما تنتقل بواسطة وسائل أخرى غير حامل الأمواج الضوئية (بواسطة أمواج

(١) إن المسافة الكونية بين نقطتين - حادثتين معطاة بالقانون $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$. وهذا التعريف يعمم، في المكان- زمان، ذي الأبعاد الأربعة، مفهوم المسافة المكانية في المكان الديكارتي ذي الأبعاد الثلاثة.

ثقالية مثلاً). ومن جهة أخرى ، ربما نستطيع أن نسلم بانتشار طاقة بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، شريطة أن يكون هذا الانتشار يخص ظواهر غير قابلة لتوسيط انتشار سبب .

كثير الكلام في هذه السنوات الأخيرة عن ظواهر «عدم قابلية الفصل» بين منتجات تفكك ذري تستتبع النقل الآني على بعد لتأثير قابل لأن يعدل ملاحظات إحصائية عن هذه التفككات . لكننا نتأكد من أن هذه الظواهر لا تستطيع أن تصلح لانتشار معلومة بسرعة تفوق سرعة الضوء . بطريقة أعم ، إن جملة صنف تفسيرات («اتفاقي») للحركة في الميكانيك الكوانتي تستدعي الملاحظة نفسها . ففي كل حالة ، يجعل وجود عنصر صدقوي في الظاهرة الملاحظة استعمالها من أجل نقل إعلام بطريقة ربما تنتهك مبدأ السببية المنتشرة أمراً ممتنعاً .



لاشك أن هانس ريخينباخ هو فيلسوف العلوم الذي درس أفضل دراسة نظرية النسبية بما هي مؤسسة لنظرية سببية للزمان ، فهو يلاحظ في كتابه Space and Time أن «الفيزيائيين النسبويين قد صاغوا بالفعل نظرية صحيحة عن الزمان ، لكنهم تركوا معارضيهم في العتمة فيما يخص الأسس الإيبيستيمولوجية لفرضياتهم» . وقد أوضح ، في كتاب آخر : «إن مبدأ أنشتاين عن الطابع الخاص بالسرعة الحدية لسرعة الضوء مؤسس في الوقت نفسه» على بداهة سلبية وعلى بداهة إيجابية . فهو بداهة سلبية من وجهه . نظر المبدأ القائل بأن أية إشارة أسرع من سرعة الضوء لم تلاحظ أبداً . لكن مبدأ أنشتاين ما كان سوف يقبل أبداً لو أنه لم يكن مؤسساً أيضاً على بداهة إيجابية . كانت نظرية النسبية سوف تقود إلى نتائج غير معقولة لو أن هذا المبدأ لم يكن صحيحاً ؛ فالترتيب الزماني لحوادث مترابطة سببياً ربما كان يمكن أن يكون معكوساً ، وكميات لانهائية من الطاقة ربما كان يمكن أن تكون منتجة ، وهكذا دواليك . إن نتائج من هذا النوع تبدو مستبعدة الحدوث

إلى حد أنها تزودنا بدليل بالمقلوب : ويبدو أمراً غير محتمل كلياً أن يكون مبدأ الطابع الخاص بالسرعة الحدية لسرعة الضوء خاطئاً .

على هذا الحال ألا تكرر نظرية النسبية الزمان باعتباره پاراميترا سببيا . من هذا القبيل ، أنها تشكل الإمتداد المباشر لعمل نيوتن ، الذي كان قد جعل من الزمان پاراميترا السببي المباشر في معادلات الميكانيكا ؛ التفاضلية . بيد أن نظرية النسبية تفتح أيضاً مسألة اختيار منظومات محاور الإحداثيات . ولم تكن النتائج التي تم الحصول عليها حتى عام ١٩٠٥ ، في الواقع ، صالحة إلا بشرط أن تختار كجملة مرجعية جملة عطالية ، أي محاور إحداثيات مصوبة نحو نجوم ثابتة . لكن هل يمكن أن تطور نظرية فيزيائية متخلصة من هذا الإكراه ؟ وفي هذه النظرية الجديدة ، ما هو شأن مبدأ السببية المنتشرة ؟ هل إن نظرية النسبية العامة ، التي تستجيب كما نعلم للحالة الجديدة هذه ، هي أيضاً نظرية سببية للزمان ؟

* * *

الفصل التاسع

الزمان ورقص المجرات

إن قوانين النسبية التي طورها أنشتاين عام ١٩٠٥ ، شأنها شأن قوانين الميكانيك النيوتونية ، لا يمكن أن تطبق ما لم نغنى باختيار مناسب لجملة الأحداث المرجعية . بالنسبة لمعظم التطبيقات ، تمثل جملة أحداث يقع مبدؤها في مركز الشمس وتكون محاورها مصوبة نحو النجوم الثابتة ، جملة مثالية بتقريب جيد جداً . بالمقابل ، لا تتيح جملة أحداث مرتبطة بالأرض ارتباطاً متيناً ومنقولة معها في حركتها الدورانية ، تطبيق قوانين الميكانيكا الكلاسيكية أو النسبوية إلا بشيء من التقريب ، فالإنحرفات (الفوارق) هي الآن محسوسة بالنسبة لكثير من الظواهر المألوفة ، على غرار مسار قذيفة أو انتقال الهواء في الأرصاد الجوية . وقد كان أنشتاين يعي تماماً هذا الضعف . فما أن كانت قوانين النسبية لعام ١٩٠٥ قد أثبتت حتى كان قد سبق له أن أخذ يتمسك بتعميمها ، بحيث يطبقها على جمل أحداث كائنة ما كانت . من أجل ذلك ، كان لا بد له في بداية الأمر من أن يفهم في أي شيء كانت هذه الجمل تختلف عن الجمل التي تبيحها النسبية الخاصة . والنظرية التي طورها حينذاك ما بين عامي ١٩٠٧ و ١٩١٧ ، التي تدعى نظرية النسبية العامة ، متنت أيضاً فكرة أن سير ميقانية لم يكن يستطيع أن يكون مستقلاً عن شروط بيئتها الفيزيائية . وباقترانها بملاحظات فلكية ، أتاحت إضافة إلى ذلك محاولة لإعادة بناء تاريخ الكون ، مع أفق زمني موسع ومحسوب منذئذ بمليارات السنين .

كرة النجوم الثابتة ، جملة معلمية متميزة

بعد نشر مقال النسبية الخاصة الأساسي ، عاد أنشتاين إلى أعماله حول توسيع نظريته . وقد استوحى في هذا المشروع من ماخ ، الذي كان يتساءل أيضاً

حول مزية الجمل العطالية . فخصوصية هذه الجمل تكمن في واقع كونها مصوبة نحو النجوم الثوابت ، حتى لو كانت جد بعيدة . لكن ، لماذا تكون قوانين نيوتن صالحة بشكل استثنائي في الجمل المرجعية ذات المحاور المترابطة مع كتل الكون الكبرى ؟ كان الشرح الذي أوحى به ماخ هو أن هذه الكتل ربما تكون بالضبط هي سبب العطالة . بعبارة أخرى ، إن نزوع جسم إلى أن يبقى على حالة حركية ثابتة في جملة عطالية ربما يكون نتيجة التأثير الذي تمارس كتل الكون الكبرى على هذا الجسم .

تساوي الكتلة الوازنة والكتلة العاطلة

توجد قوى وهمية^(١) ، في جملة إحداثيات متحركة حركة غير منظمة بالنسبة لجملة عطالية ، وبخاصة ، إذا كان جسم ساكناً في جملة عطالية ، فسوف يبدو خاضعاً لقوة تسارعها وهمي وثابتة بالنسبة لجملة متحركة حركة مستقيمة متسارعة بانتظام . وقد فهم أنشتاين ، في عام ١٩٠٥ ، أن القوة الثقالية التي تمد كل الأجسام الأرضية بحركة متسارعة بانتظام ، يمكن أن تكون معتبرة على أنها قوة وهمية ، في النطاق الذي تنعدم فيه بفعل اختيار ملائم لجملة الإحداثيات . وقد اقترح أنشتاين إجراء مقارنة مع مصعد يسقط سقوطاً حراً ، فيه ربما لا يعود الأشخاص يحسون بالثقالة . وهذه حالة يعيشها بشكل روتيني ملاحو الفضاء ، في هذه الأيام ، داخل محطاتهم الفضائية وهي تقطع مدارها حول الأرض . فلا يوجد مفعول ثقالي في جملة «تسقط سقوطاً حراً»^(٢) .

كان مدى مثل هذه الملاحظة كبيراً . فالثقالة ، هذه القوة العجيبة التي عن

(١) مثلاً ، نتحقق من وجود مثل هذه القوى عند إقلاع سيارة ، أو في المنعطفات ، باتخاذنا ضمناً ، كجملة معلمية ، جملة مرتبطة بمكان السيارة الداخلي ، ونقول بأن «القوة النابذة» تضغط المسافرين على مقاعدهم .

(٢) إن أنشتاين نفسه روى فيما بعد كيف أن هذه الفكرة - «الأكثر لجأحاً في حياتي» - خطرت له فجأة ، في أحد أيام تشزين ثاني من عام ١٩٠٧ على ما يحتمل . «كنت جالساً على كرسي في مكتبي في مصلحة الشهادات في بون عندما عبرت ذهني خاطرة فجائية ؛ إذا سقط شخص سقوطاً حراً ، فإنه لا يحس بوزنه الخاص : فذهلت ، فهذه الفكرة البسيطة كونت عندي انطباعاً عميقاً . وكانت تدفعني نحو نظرية نسبية للثقالة» .

منشئها «لم يرد نيوتن قط أن يخاطر بافتراض فرضيات» ألم يكن مستطاعاً ردها إلى مجرد مفعول هندسي ، يتعلق باختيار الجمل الإحداثية؟ بالنسبة لأنشتاين ، «للحقل الثقالي وجود نسبي وحسب ، قابل للمقارنة بالحقل الكهربائي الذي ينتجه التحريض المغناطيسي» . وقد قام هنا بارجاع إلى الظاهرة التي كانت قد قادت إلى النسبية الخاصة .

إن هذا التوازي الذي يوحى بالطابع النسبي للقوى الثقالية غير ممكن إلا بواسطة التساوي - المشاهد تجريبياً بيد أنه غير مشروح إلى ذلك الحين - بين الكتل العطالية والكتل الوزنة . ونستطيع ، في جملة إحداثيات مربوطة بالأرض ، أن نقيس التوتر (الضغط) الذي يجذب جسماً ما نحو مركز الأرض . ويدعى هذا التوتر وزن الجسم .

نستطيع ، في جملة إحداثيات خاضعة لتسارع شاقولي (صاروخ مثلاً ، أن نقيس التوتر الناتج الممارس على الأجسام : مثلاً ، سوف نلاحظ الضغط (قوة عطالية) الذي تمارسه هذه الأجسام على أرضية الصاروخ . فبالنسبة لجسم ، يظل الوزن وقوة العطالة متناسبين تناسباً صارماً ، بحيث يمتنع علينا أن نقرر ، بواسطة تجارب فيزيائية داخل حجرة الصاروخ المغلقة والتي لا نافذة فيها ، ما إذا كانت هذه الحجرة تخضع لتسارع في مكان خال ، أو ما إذا كانت في حالة سكون في جوار جسم ذي كتلة يجذبه بفعل الثقالة . ويوفر لنا برهاناً عادياً لتساوي الكتلتين الوزنة والعطالة تجربة «المطمار» . فمهما كانت المواد التي تتكون منها مادة هذا الجهاز ، فإنه يدل في مكان بعينه على الشاقول نفسه . وعليه ، فإن توتر الخيط هو محصلة قوتين : قوة تجاذبيه ، تتناسب مع الكتلة الوزنة للجسم ، وقوة نابذة ، عائدة لدوران الأرض ، يصنع اتجاهها بالنسبة للإتجاه السابق زاوية تساوي زاوية عرض الموضع وتتناسب شدتها مع الكتلة العطالية للجسم . وإذا كانت نسبة الكتلة الوزنة إلى الكتلة العطالية تتعلق بالمواد المستعملة ، فإن خيوط «مطمارية» مختلفة ربما تدل على شواقل مختلفة !

على هذا الحال ، يتخذ التساوي بين الكتلة الوازنة والكتلة العطالية ، البعيد جداً عن أن يكون ظرفاً طارئاً ، بالنسبة لأنشتاين قيمة مبدأ : مبدأ نسبية الثقائل . وهذا ما أتاح له تفسير الثقائل على أنه مفعول هندسي . طبعاً ، يجب من أجل ذلك أن تكون هذه الهندسة معممة ، وأن تتضمن في تعريف المسافات بين الأجسام عنصراً يعكس وجود منابع حقول ثقالية .

إن الإعداد الواقعي لهذه النظرية ، التي عيّنت فيها الهندسة بواسطة منابع الحقل الثقالي ، يظهر شاقاً . وقد طوع مارسيل غروسمان ، صديق أنشتاين القديم ، تقنيات حساب الهندسات اللا-إقليدية . وقد تعاوننا هما الإثنان من أجل تطبيقها على النظرية النسبوية الجديدة للثقالة التي حاول أنشتاين أن يبينها^(١) . وخلال أربع سنوات (١٩١١-١٩١٥) ، نشر أنشتاين مقالاته الأولى حول نظرية النسبية العامة : فمبدأ التكافؤ أعيدت مناقشته بتفصيل في عام ١٩١١ ، وأدخلت مفاهيم الهندسة الريمانية في مقال كتبه بالتعاون مع غروسمان في ١٩١٣ ، والمعادلات العامة للثقالة عرضت في أكاديمية بروسيا للعلوم في عام ١٩١٥ . وقد أتاح هذه المعادلات كتابة قوانين الفيزياء ، في جملة معلمية متسارعة بانتظام كما في جملة معلمية ما : وهي متوافقة مع مبادئ أنشتاين ، التي وفقها «يجب أن يكون اختيار جملة معلمية عديم الأهمية بالنسبة للتعبير عن قوانين الفيزياء» .

نتائج عملية بصدد سلوك الميقاتيات

في نظرية النسبية العامة ، يبقى الزمان بكل دقة على الحالة نفسها التي له في النسبية الخاصة : فهو پاراميتتر سببي متعلق بانتشار الضوء ، ومن جهة أخرى ، نستطيع دائماً ، في الجوار المباشر لنقطة - حادثة ، أن نعطي أنفسنا جملة إحداثيات بحيث يكون النظام المتري الذي يجب تطبيقه - التعليمات بالنسبة لقياس المسافات ،

(١) تمثل أنشتاين بسرعة وبشكل تام التقنيات المعنية ، لكن بدون أن يعاني مع ذلك ، على ما يبدو ، حباً متطرفاً للرياضيات في ذاتها ، وقد كان بلا شك وهو يفكر بهذه المرحلة من حياته ، أن رد مازحاً على صبية كانت تخبره عن الصعوبات التي كانت تلاقيها في الرياضيات : «صديقني بأن صعوباتي أنا ليست أقل جساماً» .

مع أخذ منابع الثقالة الحاضرة بالحسبان - هو مترية النسبية الخاصة : بخاصة ينتشر الضوء فيها بخط مستقيم بسرعة C .

إن الضوء ، على مسافات كبيرة وبحضور أشياء ذات كتلة ، يتبع ، مع ذلك ، مساراً لا يكون قابلاً لأن يتراكم على مستقيم في مكان اقليدي . على هذا الحال يطرأ على الأشعة الصادرة عن جسم واقع خلف الشمس والملازمة لحافة قرصها انحرافٌ تم التحقق من مقداره ، الذي تُوقَّع في عام ١٩١٣ ، في عام ١٩١٩ بواسطة كسوف للشمس تام . وكشأن الفواصل المكانية ، تفقد الفواصل الزمانية خاصة التطابقية (قابلية التراكم في انتقال) الميزة للهندسة الإقليدية . ففي جوار اجسام ذات كتل ، أو في غضون التسارعات ، تتباطأ الميقاتيات .

في عام ١٩١٥ ، وجد أنشتاين نفسه والحالة هذه حائزاً على المبادئ العامة والمعادلات الأساسية لنظرية الثقالة النسبوية . وكشأن النسبية الخاصة ، رفضت هذه النظرية وجود جملة معلمية مطلقة مكانية وزمانية (مكان اقليدس المطلق وزمان نيوتن المطلق) . وهي تؤكد ، إضافة إلى ذلك ، أننا نستطيع أن نختار لصالحها المترية بحيث تتخذ قوانين الفيزياء تعبيراً بسيطاً قدر المستطاع ، بشرط أن يكون هذا الاختيار مؤكداً بالتجربة . في النسبية العامة ، يكون مسار الأجسام المحررة من كل قوة غير الثقالة العامة ممثلاً بـ «خط جيوديزي» ، أي بالامتداد الطبيعي للمستقيمات في الهندسة الإقليدية . وأصالة النظرية هي في أنها تحذف ، من بين قوى الطبيعة ، التجاذب الثقالي ، الذي يغدو بهذا الشكل مفعولاً هندسياً صرفاً . والنظرية الجديدة تتوقع أيضاً بعض المفاعيل المرموقة ، كانحناء الأشعة الضوئية في جوار الشمس وسبق نقطة أوج الكوكب عطارد (وهو مفعول سبق أن علم في ذلك العهد ، بيد أنه لم يكن مشروحاً في إطار نظرية نيوتن) .

أنشتاين - ماخ : تناغمات ونشازات

في غضون هذه الحقبة ، أتيحت لأنشتاين عدة مناسبات للكتابة إلى ماخ ، وبخاصة في حزيران من عام ١٩١٣ ، ، معترفاً له بحقه في الإرشاد الذي كان قد

وفره له في بحثه ، بيد أن ماخ لم يقدم لنظرية النسبية غير دعم متحفظ . وفي الواقع لم يكن كإنشتاين نصيراً مقتنعاً لتفسير نسبوي للزمان وللمكان (وفقه هذان الجوهريان لا يملكان في ذاتهما لا وقعاً ولا معنى ، لكنهما يعبران وحسب عن علاقات بين الأشياء) ، بل كان أيضاً وضعياً متحمساً ، يمتنع عن الكلام عن واقع الأشياء والحوادث بعيداً عن الإدراك . ومن المؤكد أنه كان يعاني بعض الحذر تجاه قناعات أنشتاين الواقعية . فبالنسبة لماخ ، لم تكن القوانين العلمية غير وسيلة مقننة لوصف عدد كبير من الملاحظات معاً ، أما «واقعهما» فلم يكن له أي قياس أو دلالة ، إن لم يكن بالضبط درجة التقنين هذه . ونظرية النسبية ، سواء كانت خاصة أو عامة ، فإنها بخلاف ذلك تمنح النموذج السببي ، الذي يُعبر عنه انتشار الضوء بسرعة محدودة وثابتة ، «واقعاً» لم يكن ماخ يريد أن يكون ضامناً له . فيما بعد ، أخذ أنشتاين ، رغم الرثاء التأبيني الحار الذي كرسه لماخ في عام ١٩١٦ ، يتعد عنه وعن مبدئه .

أنشتاين يفتح عصر الكوسمولوجيا الحديثة

كان المنظور الجديد الذي أدخلته النسبية العامة ترتيب العالم الهندسي يجيز رؤية مختلفة للكوسمولوجيا ولتاريخ الكون . وقد أدرك أنشتاين ذلك وكتب ، في عام ١٩١٧ ، موضوعاً جديداً بعنوان : «اعتبارات كوسمولوجية في نظرية النسبية العامة» .

تفحص أنشتاين ، في هذا الموضوع ، حلول معادلة النسبية العامة (المعادلة التي تقرر المترية الهندسية من جهة بتوزع الكتل والطاقة في العالم من الجهة الأخرى) ضمن النطاق المثالي لعالم متجانس وموحد الخواص ؛ فيه ، إذا صح القول ، تستطيع الطوارئ الصغيرة التي تمثلها التراكيمات المادية ، كالكواكب والنجوم ، الخ ، أن تكون «مدبرة» ، بحيث يكون المعطى الوحيد المهم هو الكثافة الوسطية للمادة في الكون . ولنقل إن الأمر هو أمر وجهة نظر ملاحظ خارجي يقع على بعد كبير عن الكون ولا يهتم بالتفاصيل العديدة الأهمية مثل وجود الأرض أو الشمس . إن هذا التعميم مشروع إذا ما اعتبرنا بأن الانحراف الثقالي الذي يتعرض له شعاع ضوئي يلامس حافة الشمس لا يبلغ ثابنتين قوسيتين !

درس أنشتاين الحلو الممكنة لمعادلته، آخذاً بالاعتبار تقديرات بصدد الكثافة الوسطية للكون. وقد اكتشف أن لا حل من الحلو يقود إلى كون مستقر. فكيف عسى أن يكون الأمر على غير ذلك، في عالم، فيه تميل الإكراهات الهندسية وحدها (القوى الثقالية) إلى أن تخثر السائل المادي وإلى أن تجعل أية غيمة مادية تنهد على نفسها؟ توجد طريقتان للإفلات من استتاج مثل هذا الإنهداد العام: أن نوازن الميل إلى التقلص الثقالي بمفعول ضغط يميل إلى بعثرة السائل الكوني، كما لو أنه قد كان خاضعاً لانفجار بدئي، أو أن نسلم بمفعول تدافعي ضعيف بين الأجسام، ضئيل جداً على السلم الموضوعي لكنه كافٍ على السلم العام، كي يعيق الجاذبية العامة.

لم يتردد أنشتاين: فقد أختار البديل الثاني، واقترح أن يُدخل في معادلة النسبية العامة حد دفعي جديد من طبيعة هندسية، سماه «ثابت كوسمولوجي». فالثابت الكوسمولوجي يتيح انقاذ استقرار الكون، وتجاهل مسألة بدايته.

أما البديل الأول، فيما يخصه، فهو لم يفلت من الكسندر فريدمان، الذي نشر في عام ١٩٢٢ موضوعاً بعنوان «حول انحناء المكان» شدد فيه على إمكانية حل آخر للمسألة الكوسمولوجية، دون اللجوء إلى حدٍ دفعي. وفي هذا الحل، لا يتمكن الكون من أن يكون مستقراً؛ إن عليه أن يُلْفَى في حالة توسع أو في حالة تقلص. وفي حالة وجود توسع، ربما يكون علينا حينذاك أن نلاحظ تضاًؤلاً في تواتر الإشعاعات التي تصدها أجرام سماوية بـ «مفعول دوپلر» (شبيهاً، بالنسبة للأمواج الضوئية، بالمفعول الصوتي فيما يتعلق بتضاًؤل نبرة أبواق السيارات التي تبتعد عنا بسرعة).

اكتشافات فلكية ونمذجة التاريخ العام

في حين كان أنشتاين ولفيف من المنظرين يكرسون وقتهم للنماذج الكوسولوجية التي أوحتها النسبية العامة، حققت الملاحظة الفلكية تقدمات جديدة بفضل الأميركي إيدوين باول هابل ومرصده ذي القطر الكبير (٥٠، ٢م) المقام في

جبل ويلسون . وقد حقق هوبل الإختصاصي بالسدم ، بلا انقطاع ، ثلاثة اكتشافات كبرى .

بادئ ذي بدء ، توصل للمرة الأولى إلى أن يحلل بعض السدم الكبيرة إلى نجوم فردية ، مبرهنناً بهذه الوسيلة أن القضية هي قضية مجرات متشابهة لكنها تقع خارج مجرتنا ، ولاحظ ، في ٥ تشرين أول ١٩٢٣ ، وصور نجماً فردياً ذا لمعان متغير في سديم أندروميد الكبير . وتآلق هذا النمط من النجوم المطلق قابل للحساب ، ويتيح قياس مقدار النور فيها magnitude عندما تُرى من الأرض ، بناء على ذلك ، تقديراً مباشراً لبعدها ، وقد تم ، بعد ذلك بوقت قصير ، التحقق من هوية ١٢ نجماً من هذا النمط في المجرة نفسها ، واستطاع هوبل أن يعلن أن هذه المجرة تقع على بعد ما يقرب من / ٩٠٠,٠٠٠ / سنة ضوئية^(١) عن مجرتنا ، التي لا يبلغ قطرها إلا ما يقرب من / ١٠٠,٠٠٠ / سنة ضوئية .

ملاحظة هوبل الثالثة تتعلق بعدد وتوزيع المجرات . فقد تأكد وهو يعد المجرات التي كان يستطيع التحقق من هويتها في قطعة معينة من الكرة السماوية بواسطة مرصد جبل ويلسون الكبير ، أن توزيعها موحد الخواص إجمالياً : وفي جميع الاتجاهات توجد مجرات واكداًس مجرات . وما هو أفضل من ذلك ، أن هوبل تحقق ، بفضل التقديرات المسافية التي وسعها لتشمل ما يقرب من / ٢٥٠ / مليون سنة ضوئية ، من وجود انتظام تقريبي في شغل المكان ، واستنتج منه أول تقدير لكثافة الكون الوسطية (١٠) - غ/سم^٣ وهذا هو پاراميتتر (ثابتة) حاسم بالنسبة لكل النماذج الكوسمولوجية الموحدة الخواص والمتجانسة .

اكتشاف هوبل الثالث هو الأشهر ، فقد لاحظ وهو يدرس الطيف الضوئي لثلاثين مجرة قدر بعدها بطريقة دقيقة بما فيه الكفاية (حتى ٦ ملايين سنة ضوئية) ، حيداناً منهجياً في طيوف الإصدار نحو الأحمر ، كما لو كانت هذه الأجرام تخضع لمفعول دوپلر من جراء حركة ابتعاد . لاحظ أن سرعة الابتعاد هذه ، حسبما تستطيع

(١) إن بعد مجرة أندروميد المسلم به في هذه الأيام هو ٦, ٢ مليون سنة ضوئية .

أن تستنتجها من الحيدان الطيفي ، تكون متناسبة بشكل ملموس مع بعد المجرات : هذا هو قانون هوبل ، الذي دُرِس منذ عام ١٩٢٤ ونشر في عام ١٩٢٩ . وهو ما يدعى في هذه الأيام ثابت هوبل ثابت التناسب بين المسافة والسرعة . ولعكسه أبعاداً مدة زمانية ، تميز التاريخ الكوسمولوجي : فهو في الواقع الزمان الذي ربما قد تكون المجرة قد استغرقت من أجل أن تتبعثر حتى تشغل وضعها الحالي في الكون ، بافتراض أن سرعتها قد كانت دائماً السرعة التي تعزى لها في هذه الأيام . قدر هوبل هذا الزمان بما يقرب من ملياري سنة .

لم تفت هذه النتائج منظاراً للنسبية آخر ، هو الأب جورج لوميتر ، الذي نشر في عام ١٩٢٧ موضوعاً عنوانه «نموذج كوني متجانس ، كتلته ثابتة ونصف قطره متزايد ، بشكل يتفق والسرعة الموجهية وفق نصف القطر للسدم الخارج - مجراتية» . وكنموذج تاريخي للكون ، نادى بفكرة انفجار نواة أولية ، «ذرة بدئية» ، ربما يكون ممكناً أن تكون ذات بعد مماثل لبعد منظومتنا الشمسية . وقد قدر تاريخ هذا الانفجار الأولي انطلاقاً من زمان هوبل المميز . وقد ظل اقتراح لوميتر مجهولاً إلى حد كبير من جانب النوادي العلمية ، إلى أن اهتم به عالم الفلك أرتو إدنغتون من جديد في سني الثلاثينات .

وفي حوالي عام ١٩٣٢ ، سلّم أنشتاين ، الذي كان قد اقتنع بالمعطيات التي تتراكم بصدد ابتعاد المجرات ، بالطابع غير المجدي للثابت الكوسمولوجي الذي كان قد أدخله في نموذج عام ١٩١٧ من أجل أن يقي استقرار الكون . على هذا الحال ، انضم إلى نظرية الـ «Big Bang» وقبل فكرة «ولادة» من نقطة فريدة في تاريخ الكون^(١) . وقد أعلن فيما بعد ، بصدد الثابت الكوسمولوجي : «هذا أكبر غلطة في حياتي» .

(١) من سخرية المقادير المعتادة في العلم ، أن لوميتر عاند في الدفاع عن هذا الثابت المزدب بصورة أساسية لأنه كان يتيح ، حسب اعتقاده ، التغلب على صعوبة أساسية في نموذج انفجار الذرة البدئية ، هذه الصعوبة هي في كون الزمان المميز الذي قال به هوبل ، أي مليار سنة ، أقل صراحة من عمر الأرض ، الذي قيس بفضل إشعاع الصخور الطبيعي : كان قد سبق أن أثبتت هذه القياسات ، في ذلك العهد ، أن عمر الأرض يزيد على ٣ مليار سنة (وأحدث قياس معاصر يعطي ٤,٥٥ مليار سنة) . وما لم يكن لوميتر يرتاب فيه ، هو أن التقديرات التي قام بها هوبل عن أبعاد المجرات كانت مبخوسة القيمة بشكل مغالى فيه إلى حد كافٍ ، أما الزمان الكوسمولوجي المميز المقبول في هذه الأيام فهو جدّ أطول ، حوالي ١٥ مليار سنة .

والغريب، أن المنظرين يذكرون، منذ عدة سنوات، من جديد، بإمكانية ثابت كوسمولوجي غير معدوم: إنه الدور «التضخمي». إلا أن هذا التضخم، ربما لا يكون قد فعل فعله إلا في لحظات الانفجار الكبير Big Bang الأولى، لكي يخلي المجال بعدئذ للتوسع المنتظم الذي يحكم أقدار الكون منذ ١٥ مليار سنة.

الابتعاد الكوسمولوجي، ينبوع التاريخ

إن قانون هوبل، الخاص بالتناسب بين سرعة الابتعاد وبعد المجرات، يشكل مثلاً حسناً للإستقراء العلمي الناجح. ولم يعدل تصميمه بالمدخارجاً، من مجال الأبعاد (المسافات) التي استكشفها عالم الفلك الأميركي حتى المسافات الأكبر بعشرين مرة التي يسهل منالها بالمرصد الإشعاعي الحديث، القضية الأساسية قضية تبعية خطية بين المسافة وسرعة الأبعاد، ويميل هذا التناسب التام إلى إراحتنا في فكرة أن الكون قد انبجس من تفرد بدئي بشكل انفجار هائل.

ودلالة كهذه، مع ذلك، لا تستطيع لوحدها أن تقضي على القناعة. ومن باب التعقل، رفض هوبل دائماً أن يتحدث عن ابتعاد المجرات، واكتفى بتعبير «حيدان نحو الأحمر»، محاكياً في ذلك مناجاة نيوتن «hypo thé enonfiugo». لكن، في هذه الأيام، تأتي تأكيدات لنمط الانفجار الكبير من آفاق غير متوقعة: فالترموديناميكا النسبوي وفيزياء الجزيئات الأولية تعطي وزناً لفرضية انفجار بدئي انطلاقاً من نواة ذات بعد مختزل. زد على ذلك، أن الملاحظات في مجال فيزياء الجزيئات تدعنا نفكر أن الكارثة البدئية جرت وفق برنامج متسارع تسارعاً خارقاً، بدء من كون كثافته الطاقة شديدة جداً وبعده المكاني ضئيل جداً.

تتيح التيرموديناميكا النسبوية فهم كيف استطاع توسع الكون أو يولد، ولا يزال يولد في هذه الأيام، اختلال توازن تيرموديناميكي عميق بين المادة والإشعاع. إن اختلال التوازن هذا يشكل المحرك الحقيقي لتنظيم العالم في بُنى متميزة؛ ويكرهنا على تصور محرك أرسطو الأول، المكلف بالحفاظ على حركة الكرات. وتشرح ميكانيكته بجملتين رئيسيتين. في طور أول، يسبب توسع الكون بحصر

المعنى الإبتزاد الأدياباتيكى^(١)، للسائل الذي يكوئه . بيد أن هذا الإبتزاد لا يؤثر بالطريقة ذاتها على المادة والإشعاع . وتثبت معادلات النسبية العامة بالفعل أن درجة حرارة المادة تتناقص حسب عكس مربع «نصف قطر» الكون، في حين أن درجة حرارة الإشعاع تتناقص حسب عكس نصف القطر هذا فقط . بهذا الشكل هل إن منبع انتفاء انطروبية دائماً (أي إمكانية تنظيم) قد خلق في الكون بواسطة سيرورات مزوجة بين المادة والإشعاع . من بين سيرورات المزوجة هذه يجب التنويه بمجلوب الثقالة الخاص . ففي كون من الجزئيات المادية الباردة، تؤول الإنهدادات الثقالية إلى ولادة نجوم ساخنة . ويشكل خلق النجوم الساخنة هذا الطور الثاني لتنظيم العالم في بُنى متميزة . ومن نجم قريب، الشمس، تستمد الحياة الأرضية والإنسانية عملياً، الآن كما في الأمس، كل مل يلزمها من انتقاء انطروبية .

الطور الأول يسبب نتيجة فيزيائية ذات أهمية من الطراز الأول يمكن التحقق منها، في بداية التوسع، تكون كثافة الطاقة في الكون (بشكلها الإشعاعي، ثم شكلها الإشعاعي والمادي) عظيمة جداً . كل جزيء يُصدره جزيء مادي يعود فيمتصه للحظته تقريباً جزيء مادي آخر : وسيرورات الإصدار والإمتصاص توازن الإبتزاد التفاضلي وتبقى على التوازن الحراري بين المادة والإشعاع . وفي غضون التوسع، تأتي مع ذلك مرحلة بدءاً منها تكون أبعاد الكون بحيث تجتاز الكثافة المادية والإشعاعية وحرارتهما عتبة دونها لا يكون للفوتونات الجديدة المصدرة أي حظ في أن تُمتص ثانية . فتتابع والحالة هذه ابتزادها، يشكل مستقل عن المادة، حينذاك تضل القوتونات في الكون، مشكلة غازاً متجانساً، بدون اتجاه متميز . إنها تشكل إشعاعاً ممكنة ملاحظته، حتى في اتجاهات لا تكشف المراصد فيها أي منبع خاص : حينذاك يتم الحديث عن «إشعاع قاع السماء» . ونستطيع أن نقدر بواسطة الحساب عهد تشكل هذه الفوتونات بما يقرب من مليون سنة بعد اللحظة صفر، في حين كانت الأبعاد المميزة للكون أصغر مائة مرة مما هي عليه الآن، وكانت درجة الحرارة

(١) الإبتزاد الأدياباتيكى لسائل يتوسع ظاهرة مألوفة جداً . ونتحقق منه، مثلاً، بالتثبت من أن غاز زجاجة يوتان مضغوطة يترد بانفلاته انفلاتاً حرّاً .

المميزة للفوتونات قريبة / ١٠٠٠ / درجة حرارة مطلقة . ونتيجة للإبتراد المستمر الذي يؤثر عليها منذئذ ، لا تعود درجة حرارتها المميزة الحالية تبلغ غير ٣ درجات حرارة مطلقة تقريباً . إن إشعاع قاع السماء هذا ، الذي توقعه الفيزيائي غاموف منذ عام ١٩٤٨ ، اكتشفه صدفة عالما الرصد الإشعاعي آرنو يونزيا وروبير ويلسون في عام ١٩٦٣ . وقد تطابق شكل طيفه مع شكل الطيف النظري «الإشعاعي للجسم الأسود» ، مع درجة حرارة مميزة تبلغ ٢,٧ درجة حرارة مطلقة ، تدل على أصله التيرموديناميكي إن كثافة هذا الإشعاع ثابتة في جميع الاتجاهات ، مع تغييرات نسبية لا تتجاوز الواحد بالألف .

التضخم وجدار الزمان

تقدم فيزياء الجزيئات الأولية من جانبها دلالات عن تاريخ الكون في عهودٍ أيضاً أقرب من اللحظة البدئية . فمعظم العناصر الخفيفة ، كالهيدروجين والدوتيريوم والهيليوم الموجودة في الكون ، لم تتمكن من أن تتشكل إلا في هذا العهد السحيق ، لأن تشكيلها يتطلب درجات حرارة مرتفعة جداً ، من مرتبة (١٠)^{٢٧} درجة مطلقة . ووفرته النسبية الراهنة حالياً تعكس والحالة هذه الشروط التي كانت راجحة في ذلك العهد . وهو تؤكد أن الكون كان لازماً عليه أن يمر بدور في غضونه كانت درجة الحرارة أعلى من هذه القيمة .

لدينا والحالة هذه قرائن متوافقة ومستقلة ثلاث لصالح تاريخ كوسمولوجي من النمط «Big Bang» النسبوي : قانون هوبل ، إشعاع قاع السماء ووفرة العناصر الخفيفة النسبية . والسيناريوهات الأخرى التي تم اقتراحها لا تعرض الملاحظات التي أجريت في الوقت نفسه في هذه المجالات الثلاثة ، هاكم لماذا يسلم جميع علماء الفلك الفيزيائي في هذه الأيام بنموذج تاريخ الكون هذا ، حتى لو بقيت قائمة ارتيابات عديدة حول تفاصيل ولادته .

كان معظم علماء الفلك يقدرّون ، حتى عام ١٩٨٣ ، أن الكون نجم عن حادث نقطي متفرد ، قدّه معدوم ودرجة حرارته لانهائية ، ووفق السيناريو الذي كان

مطروحاً حينذاك ، بعد مولد الكون بمقدار جزء من الثانية ، بلغت أبعاده ميكرونًا ، في حين أن درجة الحرارة كانت لا تزال تزيد على (10^{32}) درجة حرارة مطلقة . وفي مثل درجة الحرارة هذه ، لا يكون أي شكل مادي ولا حتى ضوئي مستقرًا ؛ ولا نستطيع أن نتصور هذا الكون الأولي إلا على أنه مكان خاوي فيه تنبجس وتتلاشى باستمرار بشكل أني تقريباً «كوانتات» . ومنذئذ ، سلكت بعض الصعوبات ، المرتبطة بصورة خاصة بتجانس إشعاع قاع السماء الخارق ، بحيث أن بعض الفيزيائيين تصوروا بداية الكون بطريقة تختلف اختلافاً زهيداً ، أكثر تسارعاً أيضاً ، ولو أن درجة الحرارة قد أمكن أن تظل محدودة وأن يكون صعباً منذئذ أن نبدي رأياً حول أبعاده ، ويختفي تاريخ الكون خلف طور متفجر ، كارثي ، كما لو كان يختفي خلف بساط ثقيل ، وفي غضون هذا الطور «التضخمي» ، أمكن أن يتزايد قد الكون بسرعة تفوق سرعة الضوء ، الأمر الذي لا يتعارض مع مبادئ النسبية ، إذ أن المادة لم تكن حينذاك ذات وجود مستقر . في السيناريو الجديد المعدل للـ Big Bang ، ربما تكون المادة قد ظهرت في كون كان قد سبق له أن غدا نسبياً واسعاً ، في غضون إعادة تسخين جزئية^(١) .

مهما يكن من أمر ، لا تتيح قوانين الفيزياء الرجوع إلى ما هو أبعد من هذا الطور البدئي . إنها تقدمه لنا على أنه جدار للتاريخ لا يمكن أن نتعداه ، وعبره انقضى الزمان . فيما يتجاوز شبه التفرد البدئي هذا ، لا يوجد لا اتجاه متميز ولا بنية يمكن أن نتبع آثارها ، وأن نعيد تمثيل التاريخ . فالزمان يتشعشع ويضمحل . ونستطيع أن نستعيد إلى الذاكرة سؤال القديس أوغسطين : «ما الذي كان موجوداً قبل أن يوجد الزمان؟» لا شيء ، إلا إذا كنا نقبل تعريف الزمن الوارد في المدخل . لا شيء ، لأن الزمان لا يوجد دون شيء يستطيع أن يعرض عليه بالتواجد ويترك أثره

(١) من جراء التناظر شبه الكلي الذي يوجد مباشرة بين المادة ومضاد المادة ، ربما يكون والحالة هذه ممكناً أن تكون بعض التجمعات المجرية الموجودة اليوم مكونة من مضاد المادة . فالضوء الذي تصدره مضادات مجرات احتمالية مطابق للضوء الذي تصدره مجرات عادية ، إلا أن الإشعاع الكوني الآتي من هذه التجمعات ربما يستطيع أن يتيح التأكد من وجودها .

عليه . ودرجة الحرية هذه تتلاشى في الوقت نفسه الذي يضيع فيه مفهوم الشيء في الخواء الأولي .

خلق الكون ، علم وفلسفة

تظهر مسألة ما كانت عليه حالة الكون قبل بداية الأزمان كم يصعب علينا أن نتخلص من الفكرة النيوتونية عن زمان في ذاته ، زمان قد يكون شيئاً ما على غرار «sensorium Dei» عند كلارك ، لأنه ربما كان موجوداً حتى قبل أن وجد العالم . فيما يخص النسبية العامة ، يعينُّ البنية المكان - زمانية التنسور طاقة - دفع ، والزمان كالمكان لا يوجدان إلا بمقدار ما يكون هذا التنسور موجوداً .

ويستحق تاريخ الكوسمولوجيا الحديثة لوحده كتباً (انظر بخاصة مؤلفات جاك ميرلو-بونتي) . مع ذلك ، نجد أنه خلافاً لكثير من الإكتشافات العلمية الأخرى ، لم تشكل فكرة لحظة بدئية للكون ، بحصر المعنى ، ثورة علمية ، قطيعة من هذه القطيعات الإيبيستيمولوجية المحببة عند باشلار . ففكرة ولادة الكون ليست أكثر غرابة في نظرنا من ولادتنا نحن . ففي الواقع تتدانى الحادثتان إحداهما من الأخرى في لاشعورنا ، بسبب الإمتناع العملي للرجوع القهقري في مجرى الزمان الخاص بهما إلى ما يتعدى لحظات بدئية . وذلك هو ، بلا شك ، السبب الذي من أجله كانت تسلم قبلاً معظم الأديان ، قبل العلوم ، بذلك ، عبر أسطورة الخلق .

على هذا الحال تشتمل قصة الخلق التوراتية على قضايا حديثة حدائثة مدهشة ، بخاصة فكرة أن الكون كانت له بداية . وفي التورات تم التذكير أيضاً بأولوية النور : «ليكن النور!» وقد قال النص التوراتي ما هو أفضل أيضاً ، لأن النور يبدو مبشوثاً جيداً في عدم سابق الوجود . بما يتفق مع أحدث الأفكار حول طبيعة ودور الخلاء في فيزياء الطاقات العالية جداً : «في البدء خلق الله السماء والأرض . وكانت الأرض خربة وخالية . وعلى وجه الغمر ظلمة . . .» . طبعاً إن مسألة بداية الأكثر حدائثة لم يُذكرُ بها في النص أبداً . ومن أجل ذلك كان لا بد من انتظار نصوص

القديس أوغسطين الرائعة («الزمان، أنت من خلقه، ولم يكن يوجد زمان قط قبل أن وجد الزمان...»)، والغزالي وموسى بن ميمون، الذين عارضوا بالتدريج أرسطو وأدخلوا فكرة بداية مطلقة للأزمان، تتطابق مع خلق العالم. ففكرة الكوسمولوجيا العلمية الحديثة ليست والحالة هذه لا حديثة ولا مناقضة للحس المشترك. إنها بخلاف ذلك تحدد تشابهاً مطمئناً بين تاريخ العالم والتاريخ الفردي، وحتى تقارباً أو توافقاً مصيرياً.

لكن لماذا والحالة هذه وقف فلاسفة عصر الأنوار، الذين أدخلوا تاريخ المنظومة الشمسية في علم الفلك ضد فكرة بداية مطلقة؟ هل كانوا يريدون أن يتخلصوا من أساطير الدين باسم العقلانية؟ والواقع هو أن لا پلاس استبعد، في عرضه لمنظومة العالم، كل نقاش حول بدايات السدم، كما رفض كل لجوء إلى أسباب غائية ما هي سوى «متخيلات لمجرد الحاجة إلى تهدئة قلقنا بصدد بداية الأشياء التي تهمنا». في موسوعة ديدرو، تخلى معاصره دالومبير صراحة عن الفكرة التي تقول بأن المادة ربما لا يمكن أن تكون قط خالدة، وسبينوزا لم يكن هو كذلك، يريد أن يسمع من يتحدث عن تاريخ للكون، وذلك قبل عهد كانط ولاپلاس بما يقرب من قرن. ومن الواضح بالفعل أن يجعل مثول وب سبينوزا الصممي، المقترن بلا تناهي صفاته، صعبة فكرة خلق للمادة، فكرة بداية مطلقة لها، على الأقل في شكل «طبيعة مُطَبَّعة»، أي في ماهيتها العميقة التي لا تنتمي لا إلى المكان ولا إلى الزمان. لأن ذلك ربما كان سوف يؤول إلى التسليم بأن الله يستطيع أن يوجد خارج الطبيعة، وهذا ما كان يعتقد سبينوزا، وحتى نعرف التأثير الفلسفي الذي مارسه سبينوزا على أنشتاين، نستطيع أن نعتقد أنه قد كان، مع ماخ، ملهماً مهماً للتأليف الأنشتايني، حتى وبما في ذلك حكاية الثابت الكوسمولوجي. وهما الإثنان دعما أنشتاين في لمعات عبقريته الأكثر إيماضاً، بل وأسهما أيضاً في بضعة الخطوات العائرة التي ترك نفسه ينجريها.

* * *

لقد جلب فيزيائيو وفلكيو هذا القرن، بالتدريج عناصر ما يشابه في هذه الأيام برهاناً، واقعاً تجريبياً: «الكون في حالة توسع . لقد ولد، منذ ١٥ مليار سنة، بانفجار عظيم، هو الـ «Big Bang» . وقدره، شعشة لا نهاية لها في مكان لا نهاية له أو عودة إلى التقلص حتى تفرد نهائي، هو («Big Crunch» التقلص العظيم)، يطرح بالمقابل مشكلة، لأنه يتوقف بشكل قوي على قيمة الكثافة الوسطية للمادة في الكون، التي بصدها لا يزال يوجد ارتياب كبير . إن للزمان بداية، بيد أننا لا نعرف بعد ما إذا كان له نهاية .

* * *

الفصل العاشر

مفارقة التوأمين، تاريخ آلة الرجوع القهقري

في الزمان

دعم تطوير النسبية العامة القناعة التي وفقها يتوقف سير الميقاتيات على بيئتها الفيزيائية، وقد سبق أن أحتوت مذكرة أنشتاين الأصلية حول النسبية الخاصة، التي نشرت في عام ١٩٠٥، على مقطع ملحق أشار فيه إلى «نتيجة متفردة» لمعادلات تحويل لورانتز، النتيجة التي تنظم الانتقال من الإحداثيات المكانية والزمانية بين جملتين معلّمتين تتحركان حركة منتظمة. والمقصود هو الاختلال الذي ينشأ بين الزمان الذي تدل عليه ميقاتيات مرتبطة بكلتا الجملتين المعلّمتين. وقد كان أنشتاين يشير إلى أن هذا الاختلال، الناجم عن ظاهرة تمدد المدد الزمانية، سوف لا ينعدم إذا ما توقفت الحركة أو انعكست، حتى لو كانت الجملتان المعلّمتان قد أفضى بهما الأمر إلى أن تتراكبا من جديد إثر هذه التغييرات الحركية: ففي النسبية كل اختلال زمني يحصل يبقى إلى الأبد. ومن الآن، علينا أن نتعود على أن نضم إلى كل شيء (موضوع) زماناً خاصاً به يتوقف إيقاع جريانه على الشروط التسارعية والحقل الثقالي التي يخضع هذا الشيء لها. طبعاً، يكون الاختلال، في حالة سرعة الحركات الإعتيادية، زهيداً بحيث لا يكون قابلاً لأن يقدر بواسطة الميقاتيات العادية. غير أنه أمكن مؤخراً أن يقاس بفضل دقة الميقاتيات الذرية.

إن توقع اختلال بين ميقاتيتين خضعنا لحركتين نسبيتين واحدهما بالنسبة للآخرى تصدم حسنا السليم، لأننا نعتقد أن إيقاع جريان زمان الأشياء لا يبايلي بالمعالجات التي يمكن أن تقع عليها في المكان. هناك تفرد آخر للتجربة يبدو للوهلة

الأولى مفارقاً هو لا تناظر النتيجة المعلنة : فالميكاتية المرتحلة تتأخر بالنسبة للميكاتية الثابتة، والميكاتية الثابتة تتقدم بالنسبة للميكاتية المرتحلة، في حين أن أحد مبادئ الفيزياء الكبرى هو تناظر الحركة المستقيمة المنتظمة التام. ونستطيع أن نقول أن الميكاتية المتحركة تبتعد أو تقترب من الميكاتية الثابتة، خلال طوري الذهاب والإياب، لكننا نستطيع أيضاً أن نقول أن هذه الميكاتية الثابتة (ومعها المختبر برمته) تبتعد أو تقترب من الميكاتية المتحركة. فمبدأ النسبية يوضح أن لا تجربة فيزيائية تتيح حسم مسألة التفريق بين طريقتي التعبير، ما دمنا نعلم النظر إلى حركات مستقيمة ومنتظمة..

وقد كان بول لوجوفان، الأستاذ في الكوليج دي فراس وصديق أنشتاين المعجب به، بلا شك، أول من اقترح الصياغة الأكثر تنميماً وفي الوقت نفسه الشرح الأكثر إقناعاً، لهذه الظاهرة.

لوجوفان يشرح المفارقة

خطرت للوجوفان، في محاضرة ألقاها في بولونيا عام ١٩١١، فكرة توضيح أوجه الزمان المفارقة في الميكانيكا النسبوية بروايته حكاية توءمين، انطلق أحدهما في رحلة بين الأفلاك تتم بسرعة كبيرة جداً، في حين بقي الآخر على الأرض. بعد مضي سنتين، عاد التوءم المرتحل، بعد إتمام رحلته، إلى الأرض، بيد أنه وجدها قد زاد عمرها مئتي سنة. إن نص هذه المحاضرة نشر فيما بعد. وهو يقدم شرحاً شديداً للوضوح وملائماً لاختلاف إيقاع التقدم في العمر. لا شك في أننا سوف نجد لذة في إعادة قراءته.

«لنفترض أن قطعتين ماديتين تلتقيان أول مرة، ثم تنفصلان، وبعدئذ تعودان فتلتقيان. إننا نستطيع أن نؤكد أن ملاحظين مرتبطين بالقعدة الأولى وبالثانية أثناء الانفصال سوف لن يكونا قد قدرا بالطريقة نفسها مدة هذا الانفصال، وسوف لن يكونا قد تقدم العمر بأحدهما كالآخر، ينتج مما تقدم أن الملاحظ الذي سوف يكون قد تقدم به العمر أقل هو الذي سوف تكون حركته أثناء

الإنفصال أبعد عن أن تكون منتظمة، الذي سوف يكون قد خضع بدرجة أكبر للتسارعات.

هذه الملاحظة تقدم الوسيلة، لمن من بيننا يود أن يكرس لها سنتين من حياته، لمعرفة ما سوف تكون عليه الأرض بعد مئتي سنة، لاستكشاف مستقبل الأرض بإحداثه في حياتها قفزة إلى الأمام سوف تدوم بالنسبة لها قرنين وبالنسبة له سوف تدوم سنتين، إلا أن هذا الأمر سوف يكون بلا أمل في الرجوع، دون قدرة على المجيء من أجل إعلامنا عن نتيجة رحلته لأن كل محاولة من مثل هذا النوع قد لا تستطيع إلا أن تنقله إلى الأمام أكثر فأكثر.

وربما كان سوف يكفي من أجل ذلك أن يوافق مرتحلنا على الانحباس في قذيفة قد تطلقها الأرض بسرعة قريبة قريباً كافياً من سرعة الضوء، مع بقائها أقل منها، وهذا أمر ممكن فيزيائياً، بترتيب الأمر بحيث يحدث لقاء، مع نجم مثلاً، بعد سنة من حياة المرتحل، ويرجعه نحو الأرض بالسرعة نفسها. لدى عودته إلى الأرض وقد تقدم به العمر سنتين، سوف يخرج من سفينته ويرى كرتنا الأرضية الأرضية قد تقدم بها العمر مئتي سنة إذا كانت سرعته في غضون ذلك أقل من سرعة الضوء بـ ٢٠ من الألف وحسب. والوقائع التجريبية المثبتة أصدق إثبات تتيح لنا أن نؤكد أن الأمر سوف يكون كذلك.

من الممتع أن نعرض كيف أن مستكشفنا والأرض كانا سوف يريان بعضهما يعيشان بالتبادل، إذا كانا يستطيعان أن يظلا على اتصال دائم، بواسطة إشارات ضوئية أو برقيات لاسلكية، أثناء انفصالهما، وأن يفهما بهذا الشكل كيف يكون ممكناً اللاتناظر بين قياسي مدة الانفصال.

حينما يتعدان أحدهما عن الآخر بسرعة قريبة من سرعة الضوء، سوف يبدو كل منهما للآخر يفر أمام الإشارات الكهربائية أو الضوئية المرسلة إليه، بحيث يستغرق زمناً طويلاً جداً كي يتلقى الإشارات المرسلة في أثناء مدة زمنية معينة. ويظهر الحساب بهذا الشكل أن كل واحد منهما سوف يرى الآخر يعيش حياة أبطأ

من المعتاد بمئتي مرة . وخلال العام الذي سوف تستغرقه بالنسبة له حركة الابتعاد هذه ، لن يتلقى المستكشف من الأرض غير أخبار اليومين الأولين بعد انطلاقه ؛ وفي غضون هذا العام سوف يكون قد رأى الأرض تتم حركات اليومين (. . .)

وفي أثناء الرجوع سوف تكون الشروط قد انعكست : وكل واحد منهما سوف يرى الآخر يعيش حياة متسارعة بشكل غريب ، أسرع من المعتاد بمئتي مرة ، في أثناء السنة التي سوف يستغرقها الرجوع بالنسبة للمستكشف ، سوف يرى الأرض تتم حركات قرنين : بهذا الشكل ندرك بأنه يجدها لدى رجوعه قد زاد عمرها مئتي سنة (. . .) .

من أجل فهم اللاتناظر ، يجب أن نلاحظ أن الأرض سوف تستغرق قرنين كي تتلقى الإشارات التي أرسلها المستكشف في أثناء حركته الابتعادية التي تستغرق بالنسبة له سنة واحدة : وسوف تراه يعيش في أثناء المدة الزمانية في سفينة حياة أبطأ بمئتي مرة ؛ وسوف تراه (أي الأرض) يتم حركات سنة واحدة . وفي أثناء السنتين التي سوف تراه الأرض في غضونهما يبتعد بهذا الشكل ، سوف يكون عليها ، من أجل أن تتلقى الإشارات الهertzية التي أرسلها ، أن تستخدم أنتينا أطول من أنتينه هو بمئتي مرة . وفي نهاية هذين القرنين سوف يصل إلى الأرض خبر التقاء القذيفة مع النجم الذي يحدد بدء رحلة العودة . ووصول المرتحل سوف يحصل بعد ذلك بيومين خلالهما سوف تراه الأرض يعيش بسرعة أكبر من المعتاد بمئتي مرة ، وتراه يتم حركات سنة أخرى كي تراه عند العودة قد تقدم به العمر ستين فقط . وفي أثناء هذين اليومين الأخيرين ، على الأرض أن تستخدم من أجل تلقي أخبار عنه ، أن تستخدم أنتين استقبال أقصر بمئتي مرة من أنتين المرتحل .

بهذا الشكل ، يفسر اللاتناظر المتعلق يكون المرتحل وحده خضع ، في منتصف رحلته ، لتسارع غير اتجاه سرعته ورجع به إلى نقطة الإنطلاق على الأرض ، من جراء الواقع واقع كون المرتحل يرى الأرض تبتعد وتقترب منه في أثناء مدتين زمانيتين تساوي كل منهما سنة ، في حين أن الأرض التي أعلمت بهذا التسارع فقط

بواسطة وصول أمواج ضوئية، ترى المرتحل يبتعد عنها خلال قرنين ويعود إليها خلال يومين، في أثناء مدة زمانية أقصر بأربعين ألف مرة».

بهذا النص المنذر، دل لونجوثان بوضوح على السبب الحقيقي لانعدام التناظر في التقدم في العمر: التسارعات التي يخضع لها المرتحل، التسارعات التي ليست نسبية. فالنسبية العامة، التي كانت تتمخض في عهد محاضرة لونجوثان، لم يكن بإمكانها إلا أن تكون ميسرة لوجهة النظر هذه. ويتيح تحليل مفصل لهذا النمط التجريبي في إطار النسبية العامة تأكيد قيمة الإختلال المتوقع، بين هاتين الميقاتيتين، هذا الإختلال هو فعلاً الإختلال الذي تقود إليه المقاربة السابقة.

مفعول منظوري؟

التخلي التام عن الزمان في ذاته، والمستقل عن الأشياء (المواضيع) وعن الإكراهات التي تتعرض لها، هو الطريق الموثوق أكثر إلى التفسير الصحيح لمغامرة توأمي لونجوثان. ومع ذلك يظل التخلص من عادة تصور الزمان على أنه لا متغير عام أمراً صعباً. السبب الذي من أجله حاولت أذهان كثيرة، توافق على نظرية النسبية الأنشتاينية ومعادلات تحويل الإحداثيات المكانية والزمانية المقترنة بها، أن تقدم تفسيراً مختلفاً يقود إلى إنكار وجود اختلال بين الميقاتيتين، أو تقدم في العمر مختلف بالنسبة للتوأمين، منذ أن تكون الميقاتيتان أو التويمان قد أعيدا إلى السكون بالقرب من نظيريهما اللذين بقيا على الأرض.

على هذا الحال كان موقف برغسون بخاصة، الذي كانت بالنسبة له المدة الزمانية المعاشة **معطى من معطيات الوعي مباشراً**، علامة الوعي الذكي وأساس الإدراك المنظم، لم يكن ينكر تلاؤم النظرية النسبية، لكنه كان يسعى ليقدم عنها قراءة فلسفية مطابقة لقناعاته الشخصية. وكان يُميز، في تجربة توأمي لونجوثان، الزمان الحق، زمان الملاحظ غير المتحرك، والزمان «الظاهر»، الذي كان يعزوه إلى الظواهر التي تجري في القذيفة الصاروخية التي يراها تبتعد أو تقترب منه، بمفعول منظوري عائد لحركة القذيفة.

يدل تحويل لورانتز في الواقع على إيقاع جريان الزمن (مدة دقة ميكاتية) في جملة مرجعية متحركة حركة مستقيمة ومنتظمة مثلما هو مقاس في ميكاتية منظومة (جملة) ساكنة ويحق لنا والحالة هذه أن نقول بأن الميكاتية المتحركة، في حالة مشاهدتها من المنظومة الساكنة، تتأخر بالنسبة للميكاتية الثابتة. لكن، هل علينا أن نقول أنها تتأخر، أو تبدو متأخرة؟ فما دمنا لا نقترح مقارنة دلالات ميكاتيات موجودة جنباً لجنب وفي حالة سكون، نستطيع أن نؤكد أن إيقاع جريان «الزمان» (العام) لا يبالي بالحركة وأن المفعول الذي تبلغنا عنه معادلات لورانتز ليس غير مفعول منظوري. وما دام مرتحل لونجوثان يبتعد أو يقترب من الأرض، فإن أخاه وهو ينظر إلى الميكاتية التي حملها معه تدق يراها تتأخر بالنسبة لميكاتية. لكن، حسب رأي برغسون، لن يتخلف هذا المفعول المنظوري عن الزوال في لحظة وقوف المركبة الفضائية الفيزيائي، بحيث يتعرف التوءمان على عمرهما الحقيقي، ذاته بالتأكيد. وفي رأي برغسون، المفعول مماثل لوهم انكسار القضيب الذي نغطسه بشكل مائل في مستنقع، الذي يبدو منكسراً بسبب انكسار الضوء في الماء: فالوهم يتوقف منذ أن يعاد القضيب إلى الوسط الهوائي المتجانس.

إن موقف برغسون، الذي يوفق بين معادلات لورانتز والزمان العام، يدعو منطقياً إلى نسبية التسارعات. ونسبوية التسارعات هذه مناقضة للوقائع التجريبية ولا تصمد أمام تحليل للتجربة مفصل في إطار النسبية العامة.

النظرية على محك التجربة

تستخدم التجربة التي تصورها لونجوثان حركات منتظمة لا تتيح بالفعل إعادة الميكاتية المرتحلة إلى السكون على الأرض. فيما يخص مناسبة إقامة أنشتاين في باريس عام ١٩٢٢، لقد نجم عنها مجادلة بينه وبين برغسون، مجادلة كان من شأنها أن تستمر في أن تحدث تعارضاً بين الأنصار والخصوم خلال عقود من الزمن. في عام ١٩٧١، نشر فيزيائي أميركي تحليلاً للتجربة في إطار النسبية العامة، بموجبها كانت التأخرات «الظاهرة» سوف تصبح حقاً معدومة لو كنا قد أعدنا بالفعل الميكاتية المرتحلة إلى حالة السكون على الأرض.

مع ذلك، سحرت، شعبية نظرية النسبية المتزايدة، وكذلك التحقيقات التجريبية الأولى لتتائجها في مجالات أخرى غير تمدد الزمان، الجماهير. وقد تكاثرت روايات الخيال العلمي والأفلام التي توضح هذا المفعول و«آلات الرجوع القهقري في الزمان» العجيبة. بيد أن معظم هذه الأعمال تحتوي على خطأ فاحش، في النطاق الذي كان فيه الأبطال، المتعبين من استكشافهم الزماني، يعودون ليشرحوا لأصدقائهم ما قد رأوه. فإذا كانت النظرية تتيح فعلاً استكشاف المستقبل- معرفة ما سوف تكون عليه الأرض بعد عشر أو عشرين أو مئتي سنة-، فإنها لا تتوقع في الواقع أية وسيلة للعودة إلى الوراء، للرجوع القهقري في الزمان.

ومن أجل إقناع الشاك، لا شيء يقوم مقام مثال للقديس توما: أن نرى اختلال الميقاتيتين لنصدقه. تاريخياً، تم الحصول على البرهان التجريبي التام لواقع الهوم غير المتساوي على مراحل.

بدءاً من عام ١٩٣٨، قيست مدة حياة الجزيئات غير المستقرة المنقولة في الأشعة الكونية بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فمدة الحياة الوسطية، المقاسة بواسطة مسافة طيران (قبل تفككها) هذه الجزيئات التي نعلم سرعتها، أطول بعدة مرات من مدة حياة الجزيئات نفسها «في حالة السكون»، بالتناسب الصحيح نفسه الذي توقعته النظرية. هذه القياسات لم تستطع تجريد أصدقاء برغسون من سلاحهم ومن إيمانهم بمفعول منظوري، لأن الجزيئات التي تلعب دور ميقاتيات «ينظر إليها» في أثناء حركتها. وهذا النقد ينطبق أيضاً على سلسلة التجارب الجديدة التي تمت بواسطة السرعات الدائرية للجزيئات في أعوام الستينات، عندما قيست مدة حياة الجزيئات غير المستقرة (الميزونات موس) التي تجري في حلقة بسرعة ثابتة قريبة من سرعة الضوء. طبعاً، في هذه الحالة، تعود الجزيئات بشكل دوري إلى نقطة انطلاقها، بحيث تكون «الميقاتيات» المنقولة والميقاتية المرجعية، من حيث المبدأ، ممكنة مقارنتها. وتظهر التجربة أيضاً، بدقة متزايدة، تمداً في مدد الحياة مطابقاً للتوقع النسبوي. لكن «الميقاتيات المنقولة» تظل باستمرار في حالة حركة ولا تكون مقارنة في حالة السكون، بعد رحلتها، مع ميقاتية المخبر. إضافة إلى دقة

القياس المتزايدة، تركز أهمية التجربة على كون سلوك الميقاتيات المنقولة في حركة دائرية منتظمة ممكناً أن يحلل ببساطة، أو في حدود نسبية (نسبية خاصة) (ويكون حينذاك معدل تمدد المدد الزمانية المأخوذ بالإعتبار مقترناً بسرعة الجزئيات المماسية على مدارها الدائري) أو في حدود نسبية (نسبية عامة) (ويكون تأخر الميقاتيات مفسراً حينذاك على أنه مقترن بتسارع الحركة الدائري الجاذب).

أخيراً، قام الفيزيائي الأميركي جوزيف هافيل . في عام ١٩٧١، إذ بداله أن الدقة التي بلغت الميقاتيات الذرية كانت قد أصبحت من بعد كافية من أجل الملاحظة المحسوسة لمفعول التقدم في العمر غير المتساوي، بتجربة حاسمة. فالميقاتيات «الذرية» التي يستعملها ليست بدرجة أقل ميقاتيات بالمعنى الإعتيادي للعبارة، بإطار عددي يدل على الساعة بتقريب يبلغ واحد من مليار من الثانية، وقد نوى هافيل القيام برحلة حول العالم في طائرة تجارية عادية، والإختلال الضعيف جداً الذي توقعه يعبر عنه بعشرة أجزاء من المليون من الثانية، لكن كان على دقة وأمانة الميقاتيات أن لا تدع أي شك في واقعيتها.

نُقلت أربع ميقاتيات ذرية وقُورنت مع أربع أخرى أُبقيت على الأرض. حدثت التجربة في فترتين زمانيتين. تم في بداءة الأمر القيام برحلة نحو الشرق وقورنت الميقاتيات بعد إعادتها إلى نقطة انطلاقها. وتم بعدئذ القيام برحلة ثانية حملت الميقاتيات نحو الغرب، فالإختلالات التي قيسَت في أثناء الرحلتين يجب أن لا تكون هي هي، لأن الأرض تدور حول نفسها نحو الشرق، ويجب أن تتركب حركتها الذاتية مع حركة الميقاتيات.

لوحظ، عقب الرحلة التي تمت نحو الغرب، أن الميقاتيات المحمولة تتقدم على الميقاتيات التي ظلت على الأرض، بمقدار ٢٧٣ جزء من مليار جزء الثانية (بارتياب يبلغ ٧ من مليار جزء الثانية فقط، تبدو هذه النتيجة للوهلة الأولى مفاجئة، لأن نظرية النسبية تتوقع بأنه يجب أن تتأخر ميقاتية متحركة بالنسبة لميقاتية ثابتة؛ لكن المفارقة ليست سوى مفارقة ظاهرية.

بالفعل ، عندما ننظر إلى الميقاتيات المحمولة من جملة معلية مرتبطة بالنجوم الثوابت نجدها في الوقت نفسه في حقل ثقالي أقل شدة (بسبب الارتفاع) وفي جملة معلية سرعة دورانها أقل من سرعة الأرض (تطرح سرعة الطائفة من سرعة الأرض). يجب بالطبع والحالة هذه أن تتأخر الميقاتيات الأرضية بالنسبة للميقاتيات المنقولة، ويتوقع الحساب التام اختلافاً يتوافق مع الملاحظة، مع الأخذ بالإعتبار سرعة وارتفاعات سُجِّلَت في أثناء الطيران والارتفاع فيها.

في حالة الطيران نحو الشرق، توجد الميقاتيات المنقولة في جملة معلية دورانها أسرع من دوران الأرض بالنسبة لجملة معلية مقترنة بالنجوم الثوابت. لكنها تكون أيضاً، بسبب ارتفاع الطيران، في حقل ثقالي أقل شدة، فالمفعولان يتعارضان إلا أن الأول يتغلب، والميقاتيات المرتحلة عندما تكون قد أعيدت إلى الأرض تتأخر بالنسبة للميقاتيات التي ظلت على الأرض. والاختلال الذي تدل عليه يكون أيضاً معزواً تماماً للمفاعيل التي تتوقعها النظرية النسبية. ومنذ أن أعلنت هذه النتائج، لم يعد أحد يعترض على وجود المفعول النسبوي الخاص بتقدم في السن غير متساوٍ.

زمان المونادات (الجواهر الأحادية)

ربما يكون ممكناً الاعتقاد بأن التخلي عن الزمان النيوتوني المطلق، بسبب نظرية النسبية، واختلاط متغيرات مكانية وزمانية في القياسات المسافية والزمانية قد زعزع الزمان باعتباره مفهوماً أساسياً بالنسبة لوصف الطبيعة. غير أن هذا خطأ. وإنه لأمر مفارق، أن يكتسب مفهوم الزمان، الذي أعادت النظر فيه النظرية النسبية، وزناً أكبر: فهو يتخذ بالنسبة للزمان النيوتوني عمقاً جديداً، ويجبرنا نموذج السببية المنتشرة في النسبية، أن نُحل محل الزمان اللامادي للإحداثيات الديكارتية، محل زمان نيوتن اللاهوتي، زماناً فردياً، مقترناً بكل شيء وبكل موجود. وهذا الزمان يحدد واقعها، ومصيرها، زمان الميقاتيات التي تنظم عمل أجهزتها ودواليبها الداخلية، باختصار زمانها الذاتي. واختلاط المتغيرات المكانية

والزمانية لا يفسد نوعية الزمان ، لأن هذه النوعية تأخذ كل قيمتها ما دما نضع أنفسنا في جملة مرجعية حيث الشيء أو الموجود يكون موجوداً.

لكن دفعة واحدة؛ يحدد هذا الزمان أيضاً، لأنه ينتج من تناسق الكون بأسره عبر مبادئ النسبية، وحضور كل شيء، وكل موجود في العالم، وإسهامها في الصيرورة الكوسمولوجية برمتها، في كون موسوم بخاتم تاريخه. إن يحدد تضامناً قدرها ويذكر من هذا القبيل بالمفهوم الليبنيزي بخصوص «الموناد أي الجوهر الفرد»، إذا ما ماثلناه بوحدة عاقلة فردية ومتوحدة، ربما سوف تكون في الوقت نفسه انعكاسات للعالم بأسره.



الفصل الحادي عشر حدود الزمان السببي

أتاحت نظرية النسبية إبراز مبدأ السببية المنتشرة الترتيبي . فاستطاعتها هي بحيث أنها أفضت ، في الواقع ، إلى مماثلة السببية والزمان ، في ذهن مؤسسيها . إلا أن تفسير الزمان السببي ملطخ بشائبة مزدوجة وخطيرة .

من جهة أخرى ، تقدم المعادلة فيما بين الزمان والسببية صورة مشوهة عن الزمان ، لأنها تجرده من متجته (سهمه) «فهذا الزمان ما عاد موجهاً»^(١) ، تمت والحالة هذه محاولة إدخال مبدأ آخر في النظرية (لسوء الحظ يدعى هو الآخر مبدأ سببياً) ربما سوف يعيد للزمان توجيهه ، بتقريره أن ليس على السببية أن تكون مطبقة إلا في اتجاه وحيد : من «الأسباب» نحو «المُسببات» . إلا أن هذا الإنضمام يبدو اصطناعياً جداً ، وحتى غير نافع ، كما سوف نرى ذلك بصدد قوانين الكهراطيسية .

فوق ذلك ، يحتمل أن لا يكون حقل تطبيق السببية عاماً (كلياً) بمقدار ما كان يعتقد أنشتاين . ويبدو أنه لا يشمل في الواقع غير الظواهر العيانية ، لا عناصر الواقع في ذاتها ، كما تثبت ذلك خواص الظواهر الانفصالية التي برهنتها بعض

(١) سبق أن كان لاپلاس قد ادرك أن الحتمية المطلقة تقضي على توجيه الزمان . ففي دراسته الفلسفية حول الإحتمالات (١٨١٤) ، كان يلاحظ أنه بالنسبة لموجود ذكي بما يكفي كي يعرف في لحظة معينة كل القوى التي تؤثر على الطبيعة وكل الأوضاع والسرع النسبية للجزئيات التي تؤلف الكون «لا شيء يكون غير معين» ، وسوف يكون المستقبل كالماضي حاضراً أمام ناظري . إن نفي الموضوعية بالمعنى الذي نذكر به هنا ، مقروناً بحتمية النظرية الفيزيائية المطلقة ، رفعها مينكوفسكي بلا شك إلى أعلى درجاتها . فهو قد أعلن وهو يتحدث في عام ١٩٠٨ عن تضمينات نظرية النسبية (قبل تطوير الكوسمولوجية الحديثة) أنه قد كان من الأفضل تصور العالم كما لو أنه قد كان حالياً ممتداً في اتجاهاته الأربعة ، بدلاً من تصور العالم على أنه عالم ذو أبعاد ثلاثة في حالة صيرورة .

التفاعلات المتبادلة بين عناصر أولية . وقد كان، امتناع أن توصف بشكل منفصل أشياء (مواضيع) كوانتية، حتى لو كانت متباعدة، مُحْتَوًى منذ زمن طويل في مبادئ الميكانيكا الكوانتية، إلا أن سلسلة تجارب حديثة العهد وضحت ذلك .

وتبدو، ضرورة اللجوء إلى مبدأ فرعي من أجل إرجاع اللاتناظر ما ضي - مستقبل ولا انفصالية بعض الخواص الكوانتية، أنهما يحددان عمومية المبدأ النسبوي السببي، ويدمران كل تلاؤم ممكن بين الزمان الأولي وهذه الانفصالية .

سببية وواقع

كان المفهوم الزماني الحدسي قد حُدِّد بدقة في أثناء تطويرات النظرية الفيزيائية (الميكانيك الكلاسيكي، النسبية)، وقد غدا مفهوماً هندسياً يتيح أن نحدد كمياً، بشكل ينسجم مع المكان، وضع الحوادث على مسرح العالم، الممتد في أبعاده الأربعة، وقد ظهر بشكل متلازم مفهوم الطاقة والنموذج السببي، المقترنين هما الإثنان بالزمان بشكل حميم .

ومفهوم الطاقة مقترن بالزمان من خلال مبدأ تناظري، وفقه تكون قوانين الفيزياء خالدة ولا متغيرة في غضون الزمان، الخلاصة، يوضح المبدأ التناظري هذا أن على نتائج فيزيائية ما أنه تكون هي هي بعينها بكل دقة، سواء قمنا بهذه التجربة اليوم أو غداً. يتج عن ذلك أنه ينبغي أنه تكون **الطاقة منحفظة**: وقد صاغ إيميلي نوينر، في عام ١٨٦٠، الصلة بين قانون انحفاظ الطاقة ولا تمايز الحركات الانسحابية بتغير الزمان.

والنموذج السببي هو الآخر مقترن بانحفاظ الطاقة وبالزمان . فوفق هذا النموذج، تحدد المعرفة الدقيقة للشروط الفيزيائية لمنظومة في لحظة معلومة، لا محالة، مستقبلها . وقد حدد تطوير النسبية بدقة استعماله: تنتشر الأسباب عادة بسرعة الضوء، لكنها لا تنتشر أبداً بسرعة تفوق سرعة الضوء .

لقد علمتنا نظرية النسبية وتحليل السببية شيئين جديدين وأساسيين عن

الزمان . أولاً ، خلافاً لقناعات نيوتن ، لا يرتب جميع الملاحظين بالضرورة بالطريقة نفسها الحوادث في المكان وفي الزمان . فالزمان الذي يمر ليس والحالة هذه هو الشيء الذي لا خلاف عليه . ويمتن المفهوم النسبوي للزمان - الخاص شعورنا بالانعزال وحتى بعدم قابلية التواصل . بعد كل حساب ، تبرهن مغامرة توءمي لانجوثان أنه ربما يستطيع حتى توءمان حقيقيان ، من حيث المبدأ ، أن يريا اختلافاً يحصل بينهما بحيث ربما لا يعود أحدهما نسخة عن الثاني في اللحظة الحاضرة ؛ فأحدهما ربما يصبح مرآة شباب الآخر ، والآخر نذير الشيخوة التي تنتظره وكما كان يكتب جاك مونو ذلك في نطاق آخر : «إن الإنسان يعرف أخيراً أنه وحيد في فضاء الكون الشاسع اللامبالي ! . . »

مع ذلك ، فالدرس الثاني الذي تعلمنا إياه النظرية النسبية يصحح الأول : إن كل الأكوان - جزر تظل خاضعة لقانون مشترك ، يفرض العلاقات بين الإيقاعات الخاصة بكل منها . فهذه العلاقات ليست والحالة هذه جزافية . وهذا القانون المشترك هو قانون السببية المنتشرة . فالمخروط الضوئي الخارج من حادثة يحتوي كل حوادث العالم التي تستطيع أن تكون له مرتبة . وكل مخاريط الضوء مجتمعة تنسج على الواقع شبیه شبكة حلقات ضيقة ، تمنح العالم بنية ومعنى .

إن نظرية النسبية الأنشتاينية ، إذا ما قورنت بمحاولات لورانتز وبوانكاريه المتهية ، تكمن بالتأكيد في هذا الإيمان بوجود نظام في العالم ، يفرض بخاصة إيقاع الميقاتيات النسبي ، فالمبدأ أن الأنشتاينيان حول ثباتية سرعة الضوء ولا تمايز الجملة المرجعية المختارة من أجل وصف الطبيعة ليسا منطقياً متصلين فيما بينهما إلا في إطار هذا النموذج السببي . وقد غدت أهمية هذا النموذج في الفيزياء المعاصرة بحيث أنه ، عندما يريد فيزيائي أن يبنى نظرية تفاعل متبادل (بين جزيئين أوليين جديدين مثلاً) ، يبدأ دائماً بأن يقول بأن على طاقات التفاعل المتبادل أن تخضع لتحويلات لورانتز في كل تغيير لجملة الإحداثيات . فواقعية أنشتاين هي والحالة

هذه واقعية سببية قبل كل شيء : لا يوجد شرح آخر ممكن لقوة المبدأين اللذين طرحهما ، التوقعية الفائقة^(١).

الزمان السببي ليس موجهاً

لكن تفسير الزمان السببي يجرده من اتجاهه ، من «متجهته» (سهمه).

فنقطتان - حادثان من الكون ذي الأبعاد الأربعة تكونان أو لا تكونان متصلتين سببياً ، حسبما تقع إحداهما داخل أو خارج المخروط الضوئي المرسوم بدءاً من الأخرى . ونظرية النسبية لا تدل هي بذاتها على الترتيب بين حوادث متصلة سببياً . إنها لا تشير لا إلى الحوادث الأسباب ولا إلى الحوادث المُسَبَّبات . وعلينا ، من أجل تعريف متجهة زمان ، أن ندخل عنصراً غريباً على الصورية (الشكلاوية) وأن نعلن أن الأسباب هي مبدئياً سابقة للمُسَبَّبات . ويندد بعض الإيبستيمولوجيين ، في هذا المبدأ ، بأنطروپومورفية صرفة . وفي رأيهم ، ربما يكون الغياب الطاهر لحالات قد تكون فيها أسبابٌ حادثة واقعة في الجزء «مستقبل» من مخروطها الضوئي ، مرتبطاً بامتناع كشف هذه الحالات بالنسبة للذكاء الإنساني . ففي الواقع ، يطور الذكاء الإنساني خطابه في الزمان منطلقاً دائماً ، من الأسباب ليستتج منها المُسَبَّبات .

وربما يكون المشال الأبسط لظاهره يحكمها حل لا - سببي ، تبيحه قوانين الكهراطيسية ، كشف الأمواج الكهراطيسية الكروية التي تأتي لتُمتَص تلقائياً على ذرة . طبعاً ، ربما نحتاج من أجل تفسير هذه الظاهرة بواسطة نوع من سبق العلم ، إلى أن نكون قادرين على أن نحدد «سببها» - الذرة التي سوف تمتص الأمواج - ، في حين أن هذا السبب ليس جلياً إلا في ختام ، لا في بداية ، السيرورة . ونشير إلى أن

(١) صحيح ، أن أنشتاين لم يوضح رأيه في معظم الأحيان حول هذا الجانب من جوانب برنامج الإيبستيمولوجي : وأول ما يخطر في ذهن هنا ، اسم مينكوڤسكي ، من جانب الفيزياء الرياضية ، ورايخنباخ ، من جانب الإيبستيمولوجيا . وكان أنشتاين يلح بطيئة خاطر أكبر على المبدأ النسبي ، وفي مرحلة من مراحل حياته ، على مبدأ ماخ ، ولدى أنشتاين ، يمضي مسعى الذهن العارف من المفهوم السببي إلى المبدأ الواقعي ، بدلاً من عكس ذلك ، وما يقدم دليلاً على ذلك ، تقييماته التي كانت تتناول عبقرية نيوتن ، الذي كان يحيه باعتباره «من ابتكر المفاهيم الأساسية للميكانيك وللسمية الفيزيائية» ، والمناقشات التي أجراها مع ريتز حول أولوية السببية في علاقاتها بالانطروپيا .

الرأي القبلي للعلم بأن لا نأخذ بالإعتبار غير الأسباب الماضية والتي تمارس مفاعليها (مُسبَّاتُها) في المستقبل هو اختيار حاسم بشكل مطلق . فهو في الواقع يعين الحد بين الفيزياء والميتافيزيقا، بين العلم المادوي والإيمان الديني . ذلك لأن الدين لا يستبعد بالطبع الأسباب الغائبة، التي على العكس تبدو على أنها «مجال الله الخاص» !

رغم طابع هذه المواضيع المجرد، من المفيد أن نحدد بدقة ما قد قيل للتو بصدد انتشار الضوء والأمواج الكهرطيسية . فهذه تنتشر، بصورة عامة، انطلاقاً من منبع نقطي بشكل أمواج كروية ومشاركة في المركز، ومتباعدة بدءاً من النقطة - المنبع؛ ولا تصادف في الطبيعة الظاهرة العكسية ذات الأمواج الكروية المتقاربة طبيعياً، وهي «تنقض» على جزئيٍّ مادي حيث قد تُمتَصّ . والحال، هو أن معادلات ماكسويل تسمح قبلياً بنمطي الحل . بناء عليه، يبدو أننا نفرض بشكل جزافي، الشرط الإضافي، المدعو سببياً^(١) أو ذا «أمواج مؤخرة» والذي يرفض «الأمواج المقدمة» باعتبارها غير فيزيائية .

يمكن، مع ذلك، أن تكون هذه الطريقة لفهم السببية في النظرية الكهرطيسية، طريقاً مختصراً بالنسبة لقانون الأمواج الكهرطيسية الصحيح، إذا ما أخذت بالحسبان شروط تشكلها في كوننا المحسوس، الخاضع لقانون التوسع الكوسمولوجي . بدقة أكبر علينا أن لا نستبعد قبلياً إمكانية أن لا يكون الشرط السببي البدئي الجزافي والأنطروپومورفي من حيث الظاهر سوى طريقة تأليفية لتلخيص وضعنا في عالم لاتناظري من حيث شروطه النهائية (الحدية) . إن القوانين الفيزيائية ربما تكون قانونياً متناظرة بالنسبة لاتجاه جريان الزمان، بتعبير آخر لا تبالي باتجاه السببية، لكن الـ «شروط الحدية» ربما تكون لا متناظرة، بمقدار ما يكون الكون فعلاً في حالة توسع .

(١) في هذه الحالة، تكون عبارة «مبدأ سببي» في الواقع غير دقيقة، لأنه يكاد أن يكون مختلطاً بالمبادئ النسبوية . والمقصود هو في الواقع أن نفضل الحلول الملائمة لسببية بدئية، بالنسبة لها تتبع المُسبَّات الأسباب في الزمان، وأن نرفض وجود سببية غائية، بالنسبة لها قد تسبق المُسبَّات الأسباب في الزمان .

بالفعل، أظهر جوهن هيلر ورشارد فاينمان في حوالي ١٩٤٩ أنه توجد طريقتان متكافئتان لعرض حلول معادلات ماكسويل:

- وفقاً للعرض الاعتيادي، لا نبقى إلا على الحلول المؤخرة، ونستبعد الحلول المقدمة لأنها غير فيزيائية.

- شرط أن يكون الكون غير شفاف باتجاه المستقبل، نجمع مع وزن يساوي ١/٢ الحلول المقدمة والحلول المؤخرة. في هذه الحالة يكون رد فعل الماضي في المستقبل هو الذي يتكفل بالغاء الجزء المقدم، وباعطاء الوزن واحد للحل المؤخر.

إن عدم شفافية الكون باتجاه المستقبل يدل على أن كل موجة مُصدرة يجب أن تكون ذات يومٍ ممتصة. ومسألة عدم الشفافية نحو المستقبل ونحو الماضي هذه (التي وفقها ترجع كل موجة «مقدمة» مُصدرة اليوم، في الزمان، نحو حالة عدم شفافية الكون) تبدو والحالة هذه متصلة بشكل حاسم بمسألة السببية^(١).

نحو الماضي، الكون غير شفاف بشكل واضح، بمقدار ما يكون نموذج الـ Big Bang صالحاً، أو على الأقل بقدر ما يكون تفسير إشعاع قاع السماء صحيحاً: فهذا الإشعاع يشهد على وجود مرحلة، في الماضي، حيث كانت المادة والإشعاع في حالة توازن.

لكن ليس من المؤكد أن يكون الكون أيضاً غير شفاف نحو المستقبل. ففوتون مُصدّر اليوم يستطيع تماماً أن يجتاز المسافات الكونية دون أن تمتصه أية ذرة مادية مجرّاتية أو خارج مجرّاتية. وحتى لعله (إذا كان توسع الكون سريعاً بما يكفي والكثافة المادية ضعيفة بما يكفي) لن يُمتصَّ أبداً: فالكون ربما يصبح حينذاك شفافاً نحو المستقبل. لسوء الحظ، إن هذه الإرتياب يضعف إلى حد كبير الإستنتاجات التي نستطيع أن نستخلصها اليوم من أفكار هيلر وفاينمان.

(١) علينا أن نوضح: نحو المستقبل أو نحو الماضي، لأن الكون كما نلاحظه بأجهزتنا لا يتوافق بأي شكل من الأشكال مع ما ربما نستطيع أن ندعوه «حالته الحاضرة». فالضوء الذي نلقاه من المجرات البعيدة يشهد على لمعانها منذ ملايين السنين، وحتى مليارات السنين. والعكس، إن الفوتونات والرسائل اللاسلكية التي نرسلها إلى الأمكنة التي تتجاوز المجرات لا تبلغ هدفها المحتمل إلا بعد عدة آلاف، عدة ملايين، عدة مليارات من السنين.

تم، في عام ١٩٧٣، تجريب تجربة غريبة في الولايات المتحدة من أجل محاولة الإتيان بعناصر جديدة إلى هذه القضية المثيرة للجدل. كانت المسألة مسألة البت في أمر ما إذا كان الكون شفافاً أو غير شفافٍ نحو المستقبل، باستخدام نظرية هيلر-فاينمان. وترتكز التجربة التي قادها الفيزيائي الأميركي پارتر تريديج، على إصدار أمواج لاسلكية، بواسطة أنتين وحيد التوجيه، نحو السماء، والمقارنة بطريقة جدّ دقيقة لاستهلاك المصدر للكهرباء عندما يوجه الأنتين نحو قطاع من السماء «خالي» من حيث الظاهر (من حيث الظاهر غير ماص، لكن علينا أن لا ننسى أن السماء كما نراها تعكس حالتها الماضية، في حين أن التجربة الفعالة التي نحن بصددّها قد أجريت من أجل استنطاق حالتها الآتية) باستهلاك الكهرباء عندما يغلف الأنتين بشاشة ماصة قدر المستطاع. فوفق نظرية هيلر-فاينمان، إذا كان الكون غير شفاف نحو المستقبل، فينبغي أن تنطفئ الأمواج المقدمة المصدرة تماماً وأن تكون الأمواج المؤخرة تبلغ شدتها القصوى، بحيث ربما يكون على الإستهلاك الكهربائي أن يكون هو هو في الحالتين؛ وإذا كان الكون، على العكس من ذلك شفافاً في المستقبل، فسوف يكون على الإستهلاك الكهربائي للمرسل أن يكون أقل في حالة الإرسال (الإصدار) في العراء.

تُفحصُ والحالة هذه بعناية خاصة الإستطاعة التي يستهلكها المرسل. لم يسجل أي فرق، في الحدود التي تبلغها دقة القياس، من رتبة واحد على مليار. واستنتاج المجرب هو أنه، مع تحفظ أن تكون نظرية هيلر-فاينمان صحيحة، يكون الإمتصاص على طول المخروط الضوئي الممدد نحو المستقبل تام، إلى ما هو أفضل من جزء من مئة مليون جزء على وجه التقريب. ومع ذلك، يعترض بعض المنظرين على هذا الإستنتاج.

لا نعرف بعدُ ما إذا كان ممكناً أن نتأكد، بواسطة نظرية هيلر-فاينمان أو امتداداتها الإحتمالية، من غياب الأمواج المقدمة ومن وجودنا في عالم تكون الظواهر الفيزيائية فيه محكومة تماماً بالأسباب البدئية. فإذا كانت التفاعلات المتبادلة

مادة- إشعاع تتم بشكل متناظر في نهايتي سلسلة الزمان، فلا ينبغي أن يكون الانتشار اللاتناظري للأمواج الكهرطيسية السببية (أمواج مؤخرة) أو المضادة للسببية (أمواج مقدمة) ممكناً. إن ميكانيكية لا تزال مجهولة تحطم هذا التناظر قد ينبغي والحالة هذه أن توجد حتى أنه يبدو، في حالة النظرية الراهنة، أن الانتشارات الوحيدة الجائزة- بمقدار ما يكون الحل الوحيد اللامتناظر المتلائم مع معارفنا الفيزيائية الفلكية ربما يكون هو حل كون غير شفاف نحو الماضي وشفاف نحو المستقبل- يجب أن تكون انتشارات الأمواج المقدمة، في حين أن انتشار أمواج مؤخرة سوف يكو محظوراً، وهذا بالطبع أمر مخالف للتجربة اليومية الأكثر بدائية. يعني أننا نبلغ ثم الحدود التأملية النظرية للنظرية الفيزيائية الراهنة.

اللاإنفصالية الكوانتية

تتصل الصعوبة الثانية للتفسير السببي للزمان بتطوير الميكانيك الكوانتي. وقد أثبت للمرة الأولى على يد أنشتاين في أثناء تفكره حول المبدأ السببي وعلاقاته بالمبدأ الواقعي. وقد اعتقد حينذاك أن الميكانيكا الكوانتية، كما كانت قد طُوِّرت، بخاصة من جانب بوهر ومدرسة كوبنهاغن، كانت بالضرورة نظرية غير تامة. لقد بت في الأمر معظم الفيزيائيين الحاليين، بإعادتهم قراءة الموضوع الذي نشره أنشتاين وبوريس بودلسكي وناتان روزن، على وجه مخالف. وقد شددوا على عدم ملائمة معايير الواقعية التي طرحها المؤلفون، وبشكل أدق ضعف مبدأ السببية النسبوي كما هو مشروح، الذي يفترض كل خواص الأشياء (المواضيع) الفيزيائية موضوعية. وفي الواقع، إن الجواب الذي ربما نقدمه اليوم لسؤال أنشتاين وزملائه هو ذو أهمية فلسفية أوسع مدى أيضاً مما كانوا قد ظنوه. وربما يكون ممكناً أن ينص هكذا: «الميكانيك الكوانتي هو على ما يحتمل نظرية تامة. بيد أن الواقع الفيزيائي لا يملك الخاصية الموضوعية. فهو غير قابل للتقطيع إلى أشياء فردية ربما تنتمي إليها انتماء خاصاً سمات موضوعية فردية. فهو غير قابل للإنفصال.»

وعلى أن نعترف بأن محاكمة أنشتاين كانت متينة. كانت تحدد مآل نضج

طويل الأمد، نعثر على أثره في مداخله شفوية، في مؤتمر سولقي الخامس لعام ١٩٢٧، ونستطيع أن نتبع تنقيتها تماماً طول المناقشات التي أجراها مع نيلز بوهر في غضون الأعوام ١٩٣٠-١٩٣٣.

كان ماكس بورن، مخترع التفسير الإحصائي للميكانيك الكوانتي، في عام ١٩٢٧، قد أثبت أنه يجب أن يقرن بكل جزيء موجة، تدعى موجة كوانتية. وتصف المعادلة الأساسية للميكانيك الكوانتي (معادلة شرودنغر) سلوك هذه الموجة، لا سلوك الجزيء ذاته. فالموجة ليست مادية: إنها وحسب تدل على احتمال أن يظهر الجزيء المدروس في مكان معين، إذا ما سعينا لموضعه في لحظة معينة.

وقد اقترح أنشتاين، وهو يعقب على عرض بورن، التجربة الفكرية التالية. لتتخيل حركة جزيء يتوجه من اليسار نحو اليمين، ويكون مكرهاً على أن ينفذ من فتحة حاجز موضوع بشكل عمودي على مساره. لتتخيل بالإضافة إلى ذلك أننا نمتلك، على مسافة ما إلى يمين الحاجز، شاشة ومأخذة أو لوحة حساسة للضوء يأتي الجزيء ليطلع عليها، بعد أن يكون قد عبر الفتحة، بصمته، ويدل الحساب على أن الموجة الاحتمالية التي تمثل الجزيء عند خروجه من الحاجز هي موجة كروية متباعدة تنتشر في المكان الموجود إلى يمين الحاجز بأسره (ظاهرة الإنعراج). برأي بورن، تمثل شدة هذه الموجة في نقطة ما من شاشة التجسيد (التمدية) احتمال أن نلاحظ الجزيء في هذه النقطة. لنختار اعطاء الشاشة الكاشفة شكل نصف كرة، يقع مركزها على فتحة الحاجز، كقدح مهيأ ليلتقط الجزيء المنعرج. في هذه الحالة، سوف تبلغ الموجة الاحتمالية، والحالة هذه معاً كل نقاط الشاشة، كيف ندرك والحالة هذه أن الجزيء لن يتجسد أبداً إلا في نقطة واحدة، وليس في نقطتين، في عشر نقاط، في عشرين؟ أليس علينا أن نرتقب تأثيراً فورياً، وبالتالي يفوق سرعة الضوء، «ينبه» نقط الإصطدام الأخرى الممكنة بأن الجزيء قد تجسد في موضع كذا ولا ينبغي والحالة هذه أن يظهر في موضع آخر؟

كان أنشتاين، يسلم، في محاكمته، في الواقع، أن الجزيء يوجد بالضرورة في مكان ما، على طول مساره بين الحاجز والشاشة، مع أن الميكانيك الكوانتي و «موجته الاحتمالية» غير قادرين على تقديم عرض عنه، ولا يقبل الفيزيائيون الكوانتيون أن يتحدثوا عن «موضع» للجزيء إلا في النقاط التي يكون فيها هذا الجزيء ليس وحسب ميمزاً (مثلاً لدى مروره بالفتحة) بل وواقعياً «مقاساً»، أي ملاحظاً بشكل محسوس. ضدهم، طالب أنشتاين بحق التكلم عن خاصية «وضع الجزيء» في كل لحظة من لحظات وجوده، حتى لو كان الترتيب التجريبي لا يتيح معرفته فعلاً.

ومع ذلك، فإن تجربة أنشتاين الفكرية عويصة من جراء عجزنا عن أن نصف بدقة الميكانيكية التجسيدية لوضع الجزيء النهائي، فنقطة الاصطدام هي نتيجة سيرورة كيميائية معقدة، بحيث أننا نستطيع أن نعترض، بمنتهى الشدة، على كون ظهور نقطة مضيئة على الوماض أو حبة فضة على اللوحة الفوتوغرافية يترجم فعلاً خاصية «الوضع» التي ربما نكون مجبرين على أن نعزوها للجزيء، حتى لو كان الكشف غير موضوع على مساره. ومن المعروف جيداً أن سيرورة قياس تستطيع أن تشوش موضوع (مادة) ملاحظة، ولا نستطيع أن نؤكد على الإطلاق بأن الشاشة لا تلعب غير دور منفعل، وأن الوضع المستكشف ربما سوف يكون هو هو في غياب الشاشة. وهذا ما من أجله كان يجب إنتظار تطوير تجارب أكثر تعقيداً (تصنعاً) من أجل محاولة البت في المناقشة.

وما دام التذكير بلا انفصالية للواقع يظل نظرياً ومنحصرأ بتجارب فكرية، لم يكن يزعج الفيزيائيين حقاً. وقد تغير الوضع في أعوام ١٩٧٠، عندما أصبحنا نعي الإمكانية الواقعية لامتحان اللاانفصالية الكوانتية.

التوضيح التجريبي للانفصالية

قاد آلن أسبيكت، في معهد الضوء في أورسي، في مطلع أعوام ١٩٨٠، سلسلة تجارب مخصّصة لإيضاح اللاانفصالية الكوانتية، ودراسة بعض خواصها،

وتظهر هذه التجارب أن الحالات الاستقطابية لفوتونين مصدرين في بعض السировات الذرية لا يمكن أن تكون معزوة إلى كل من الفوتونين منفصلاً.

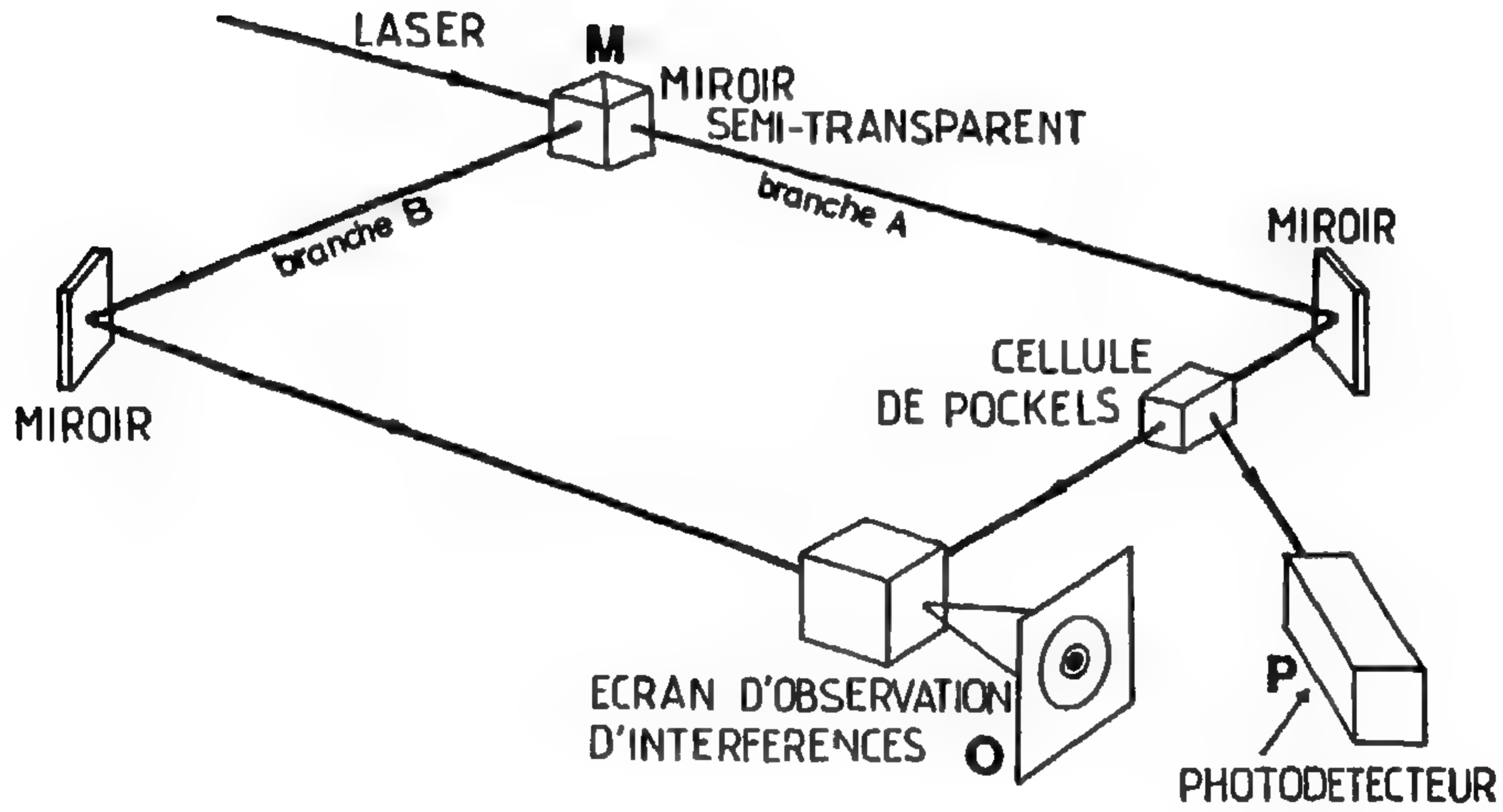
نضع على مسار كل فوتون محلاً (مرشح مستقطب) وتتجلى اللانفصالية عندما نعطي هذه المرشحات توجيهات مختلفة: مثلاً، نجعل محور الأول الاستقطابي عمودياً ومحور الثاني مائلاً عشرين درجة. فاللانفصالية تظل محققة حتى عندما يكون توجيه المحللين قد اختير بعد إصدار الفوتونين، وتكون المسافة بين المحللين بحيث لا تستطيع أية إشارة أن تسري من الواحد إلى الآخر بعد مرور الفوتون الأول وقبل مرور الفوتون الثاني.

نتيجة هذه التجربة وتجارب أخرى من النوع نفسه هي أنه يوجد في الطبيعة لانفصالية أساسية، بحيث تكون منظومتان بعد كونهما قد تفاعلتا تفاعلاً متبادلاً في الماضي (في تجربة أسبيكت، الفوتونان اللذان اصدرتهما ذرة بعينها) دائماً متضامتين، مهما تكون مسافتهم الحالية. وليس من وصف تام ممكن لكل من المنظومتين دون الرجوع إلى الأخرى.

إن خواص الجزيئات التي تبدي ظاهرة اللانفصالية هي الخواص التي يصفها الميكانيك الكوانتي على أنها «متعارضة» عندما نسعى لقياسها على جزيء بعينه، الأمر الذي يعني أننا لا نستطيع أن نعرفها في آن معاً. على هذا الحال تكون الخواص الاستقطابية للفوتونات المقاسة بواسطة محلات مُوجَّهة توجيهات مختلفة، أو أيضاً، بالنسبة لجزيئات مادية، الخواص ذات الصلة بالوضع وبالدفع، مقدوفة على المحور نفسه، وبطريقة أكثر عمومية الخواص التي تستدعي وصف الجزيء على أنه موجة بخلاف الخواص التي تذكر بشيء نقطي. وقد كانت التجربة الفكرية التي

اقترحها أنشتاين في عام ١٩٢٧ من هذا النمط الأخير . وقد أتاحت التقنيات الالكترونية الراهنة مؤخراً تحقيق منوال منها محسن .

بناء على فكرة من هيلر حققت فثتان من المجربين تركيب جهاز حيث يتخذ قرار قياس إما وضع الفوتون (خاصة نقطية) ، وإما ، على العكس ، خاصة موجبة (ملاحظة التداخل بين فرعي نضد بصري) ، بعد إدخال الفوتون في الجهاز التجريبي . يصادف الفوتون في بداءة الأمر مرآة شبه شفافة ، وظيفتها قسم «الحزمة»



إلى جزئين شدتهما متساويتان . تسلك الحزمتان طريقين مختلفين ، وفق الفرعين A أو B ، بيد أنهما يتركبان في النهاية على الشاشة الملاحظة لدى خروجهما من الجهاز . فتكون الشدة الملاحظة على الشاشة «O» تابعاً لاختلاف المسير بين فرعي الجهاز ، وهذا مفعول تداخلي كلاسيكي .

لنلاحظ بادئ ذي بدء بأن هذه التداخلات تلاحظ جيداً ، حتى في الحالة التي تكون فيها شدة الحزمتين قد تناقصت إلى حد أن الفوتونات لا تعبر الجهاز إلا

واحداً فواحداً: طبعاً، في هذه الحالة، يكون باستطاعتنا، بقيامنا بإحصاء نقاط الاصطدام على شاشة الملاحظة O بعد أن يكون قد عبر الجهاز عدد كافٍ من الفوتونات، أن نستنتج وجود تداخل. فكل فوتون ينقسم والحالة هذه بطريقة من الطرق، إلى موجتين تنتشران في فرعي جهاز قياس التداخل المنفصلين قبل أن يعودا ليندغما على الشاشة. وما هو أغرب أيضاً، النتيجة الثانية لهذه التجربة. نضع على مساو أحد الفرعين محولاً سريعاً لاتجاه السير (خلية بوكيلز) قادراً على حرف الفوتون، إذا ما كان حاضراً في هذا الفرع، كي يرسله نحو عداد «P» يثبت حضوره على هذا المسار. هذا العداد بفعل فعله والحالة هذه تماماً كعداد ربما نكون قد وضعناه في تجربة أنشتاين في نقطة محددة، في مكان ما بين فتحة الحاجز والشاشة. ويرتكز تهذيب التجربة على كون خلية البكلز يمكن أن تشغل بعد أن تكون حزمة اللازر قد تفاعلت مع الصفيحة شبه العاكسة، إذن بعد أن يكون الفوتون قد «فصل» إلى حزمتين.

نتيجة التجربة: إذا لم تكن الخلية قد شغلت، يتصرف الفوتون دائماً كموجة؛ ويحصل تداخل بين الفرعين. وإذا كانت الخلية قد شغلت، فلاحظ خلافاً لذلك كل مرة من مرتين حضوره في الفرع A. لكن في هذه الحالة لا يوجد فوتون أبداً في الفرع B؛ ويظل الكشاف «O» أخرساً. في حين أنه لا يوجد أي تفاعل متبادل سببي ممكن بين تجسد الفوتون في العداد P وتجسيده في العداد O، «فقرار» حزمة «الفرع A» بأن يتصرف كجزيء يفهم على الفور من جانب الفرع B كأمر بأن «يتلاشى». فالفوتون والحالة هذه خواص غير موضوعية تتعلق في آن معاً بالفرع A وبالفرع B^(١).

(١) يمكن أن يُعبر عن تفسير تجربة هيلر وفق معيار الواقع الذي اقترحه أنشتاين وبودولسكي وروزن هكذا. إذا كان يوجد في كل فرع المقياس التداخلي منظومة كوانتية منفصلة، وبتأثيرنا على المنظومة الأولى (بوصلنا وفصلنا المحولة المؤلفة من خلية بودوكلز) دون أن نؤثر بأي شكل من الأشكال على المنظومة الثانية، فإننا نقود هذه الأخيرة إلى أن تتجلى، إما كموجة، وإما كجزيء، وعلينا أن نستنتج منطقياً أن هاتين الخاصيتين تتعلمان معاً بالضبط إلى هذه المنظومة. والحال، هو أن الميكانيك الكوانتي ينكر هذا الاحتمال، ويؤكد خلافاً لذلك أن خواص كون الأمر موجة أو جسم متعارضة. وربما يستنتج المؤلفون والحالة هذه أن الميكانيك الكوانتي غير تام. وحل المفارقة يمر عبر تأكيد أنه لا يوجد في مقياس التداخل غير منظومة واحدة، فوتون لا منفصل، حتى لو شغل الفرعين معاً.

إن اللاإنفصالية هي والحالة هذه في هذه الأيام واقع مثبت، ومع أن إيضاحها أمر دقيق ويستدعي بالضرورة ملاحظات متكررة على عدد كبير من المنظومات، فإنها ليست خاصة حديثة، بحيث ربما نستطيع أن نهملها في تقريب أول بالنسبة لمنظومات بعيدة: وتظل في الواقع محققة بالنسبة لجميع المنظومات التي تفاعلت تفاعلاً متبادلاً في الماضي، مهما كانت «مسافتها» الحالية.

اللاإنفصالية، خاصة راديكالية للواقع

حتى مرحلة حديثة العهد، كانت نجاحات النسبية بحيث أنها عتمت وأقصت إلى المستوى الثاني اعتراضات وتحفظات فزيائي وفلاسفة التقاليد التضامنية، أولئك الذين كانوا يشكون، بعد سبينوزا، بأن الفصل الذي نجريه على الأشياء هش وثنوي (وقد كان سبينوزا يبذل الجهد من أجل إظهار أنه لم يكن غير الإنعكاس الذاتي لإرادتنا السيطرة على الطبيعة، لإرادتنا «التملك»). مع ذلك كان مجيء الميكانيك الموجي قد سبق له أن متن إلى حد كبير موقفهم. ليس البتة في أن تعيد الأمواج المعادة إضافتها إلى الجسيم جعل المكان أو اللاإنفصالية موضوع خلاف: فشبه - مجموع الفيزيائيين يسلمون بأن موجات الميكانيك الكوانتي تكون «لافيزيائية»، لأنها مجرد حوارزميات، موجات احتمالية. بيد أن الميكانيك الكوانتي يدخل تضامناً بين الشيء المدروس والأجهزة القياسية، لا يوجد في الفيزياء الكلاسيكية. وكان من عادة نيلز يوهان أن يلح على هذا الوجه الجديد لفلسفة الطبيعة: لا نستطيع التحدث عن خواص شيء كوانتي دون أن نحدد بدقة إلى أي جهاز نريد أن نخصصه^(١).

إن أنشتاين، لإدراكه الخطر الذي كانت التصورات الجديدة تثقل به على الواقعية القابلة للفصل، أي فكرة أن منظومات الطبيعة المنفصلة في المكان تمتلك خواص تنتمي إليها بالذات، كان قد قاومها بضراوة. بيد أن الإستنتاج الذي

(١) كما عبر عن ذلك دافيد بوهم، يجبرنا الطابع المحدد لثابت يلانك على تبديل التمثيل النقطي للمنظومات الكلاسيكية في المكان «الطوري» ذي الأبعاد الستة - ثلاثة أبعاد بالنسبة للوضع وثلاثة أبعاد بالنسبة لدفع الجزيء -، بخلية حجمية محدودة وثابتة (h^3)، يتعلق شكلها بوضوح بنمط الأجهزة المستعملة.

نستخلصه اليوم من هذه التجارب تختلف عن استنتاجه هو: ففرضية الانفصالية هي ما يجب التخلي عنه، في حين أن الميكانيك الكوانتي لم يكن قد دحر. وقد أظهر بيرنار دبسبانا، في عام ١٩٧٥، أن أهمية دلالة النتائج التي تم الحصول عليها تتجاوز الإطار الضيق لتأييد أو إدحاض المبادئ الأساسية للميكانيك الكوانتي. فهي تميل في الواقع إلى برهنة اللاانفصالية الأساسية للطبيعة، بشكل مستقل عن كل نظرية خاصة.

بشكل أدق، تدل النتائج التجريبية على أن واحدة على الأقل من المصادرات التالية خطأ:

(١) مصادرة الواقعية الموضعية: تمتلك المنظومات خواص موضعية وباطنية لا تكون متأثرة بقرار أن تجري أو لا تجري القياس الملائم؛

(٢) مصادرة دوام الخواص الباطنية: الخواص المخصصة لمنظومة تظل صحيحة طالما ظلت المنظومة معزولة (باستثناء التفكك التلقائي)؛

(٣) مصادرة اللا-إرجماعية: إن خاصية باطنية محققة على منظومة معينة لا يمكن أن تكون مغيرة بتعديل الأجهزة التي ستتفاعل معها هذه المنظومة في المستقبل.

(٤) مصادرة التنظيم المتدرج: إن خاصية باطنية محققة على منظومة لا تكون متأثرة إذا ما قررنا، اصطلاحياً، أن نقيدها لا بالمنظومة نفسها بل بمنظومة أخرى أكبر تضم الأولى. مثلاً، لا تكون الخواص الباطنية للالكترون معدلة، سواء اعتبرنا الالكترون بحد ذاته، أو بما هو جزيء من ذرة.

وفي الوقت الرهن، لا يفكر أحد جدياً بالطعن في المصادرة الرابعة، التي تنصب على عمليات ذهنية بشكل محض. وهذه لا تستبعد إطلاقاً إمكان أن تستطيع «المنظومات الصغيرة» أن يكون لها تفاعلات متبادلة فيزيائية مع «المنظومات الكبيرة». وإعادة جعل المصادرتين ٢ و ٣ موضوع خلاف ربما يزعزع حتى أسس إمكانية نظرية فيزيائية، بمقدار ما ربما سوف

تدخل جبانة أو غائبة في الطبيعة ، غير قابلة للفهم ببرنامج العلم ، الذي هو البحث عن القوانين السببية . فالشكوك لا تنصب والحالة هذه طبعاً على المصادرة الأولى ، مصادرة الانفصالية .

وتقودنا الخواص اللاموضعية للواقع ، التي أوضحها الميكانيك الكوانتي ، إلى أن نتفحص من جديد أهمية دلالة المبدأ السببي ، وإلى أن نبحت مجدداً تحديد هوية الزمان كپارا ميترسبيي ، كما اقترحت ذلك النسبية .

فصل السببية والزمان

يعبر دسسانا عن قناعته حول ضرورة التخلي عن مبدأ الانفصالية وعواقبه هكذا : «في إطار تصور واقعي لا أرى فيما يخصني حلاً آخر غير التخلي عن مبدأ الانفصالية . وذلك يدل ، تخطيطياً ، إما على أن علينا أن نعتبر بعض المنظومات المتباعدة حالياً عن بعضها البعض على أنها تشكل منظومة وحيدة ، وإما على أنه يوجد بين المنظومات المتباعدة تأثيرات أسرع من الضوء . »

إن هذه الصياغة تثير مع ذلك قضية . هل إن حدي التخيير - تضامن المنظومات التام أو تأثيرات أسرع من الضوء بين منظومتين منفصلتين - هما حقاً طريقتان متكافئتان للتعبير عن الحالة نفسها؟ هذا أمر غير مؤكد ، والثانية تبدو في جميع الأحوال جد متهورة ، بمقدار ما يمكن أن تدعنا نعتقد أن قوانين النسبية تكون أحياناً متهكة . فكل الناس يعترفون في الواقع أن التجارب المؤسسة على «مفارقة» أنشتاين وپودولسكي وروزن ، تظهر تأثيرات آنية على بعد ، لكنها لا تتيح في أي حال من الأحوال نقل إشارات تشتمل على معلومة بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وذلك ينتج عن الطابع الصدفوني بشكل صارم لملاحظات حصلت في موضع واحد بعينه . مثلاً ، لا يسجل ملاحظ واقع قرب أحد المحللين في تجربة أسبيكت أبداً غير أجوبة صدفوية ، تخضع للقانون الإحتمالي نفسه مهما كان ترتيب المحلل الذي يفحص الحالة الإستقطابية للفوتون الآخر في ذراع الجهاز الآخر . ولسنا نستطيع ، إلا عندما نمتلك إحصاءات تخص القياسات التي أجريت على الفوتونين معاً ، أن

نوضح العلاقات المتبادلة المميزة للانفصالية . بهذا الشكل ، لا يشكل «التأثير» بين التوجيه المعطى لأحد المحللين والجواب الذي يتم الحصول عليه في الآخر (والعكس بالعكس) «إشارة» . غير أنه من الأفضل بلا شك أن نتجنب ، في مضمار نعرف أن نميزه بواسطة اللا- انفصالية ، الحديث عن نقل على بعد للتأثير بين أشياء «متباعدة» ، في حين أن مفهوم التباعد يفترض ما هو مسافي ، وبالتالي ما هو انفصالي .

وإذا ما أخذنا بالحسبان اللاانفصالية التي تميز من الآن فصاعداً النظرية الفيزيائية المعاصرة ، ما عساه يكون قانون السببية؟ فهل إن اللا- انفصالية تعيد طرح مسألة الحتمية؟ لا يمكن أن توجد نظرية فيزيائية دون حتمية ويبقى مبدأ السببية النسبوية على كامل قيمته ما دام يطبق على سوية إجرائية للظواهر . لكن ، كما شدد على ذلك دسپانا ، ما عاد مبدأ السببية النسبوية يستطيع ، في أي حال من الأحوال ، أن يكون مفهوماً على أنه مرتبط بالواقعي في ذاته ، الذي يتملص من المقولات الزمانية والمكانية المؤسسة على النسبية . من ثم بالذات ، ما عاد يستطيع أن يؤسس أنطولوجيا للزمان . إن المثل الأعلى للنسبية ، التي ترجع الزمان إلى التعبير عن قانون للسببية المنتشرة في الطبيعة في ذاتها ، يجب أن يهجر . يجب الفصل بين الزمان والسببية .

في الميكانيك الكوانتي ، يطرح تحديد هوية الزمان كثابتة (Parametre) سببية مباشرة (في معادلة شرودينغى مثلاً) مسألة معترف بها منذ زمن طويل . إن زمان الميكانيك الكلاسيكي كان قد «أدخل» في هذه المعادلة دون تغيير ، أي على أنه مجرد ثابتة وليس على أنه عامل ، على غرار المقادير الفيزيائية الأخرى القابلة للقياس . إن إدخال ثابتة (پاراميتير) سببية في النظرية الكوانتية مختلفة عن الزمان كان قد سبق أن اقترحه منذ عدة سنين دافيد بوهم . وقد عرف إليا پريغوجين ، في وقت أقرب عاملاً زماناً كوانتياً موصولاً بالزمان- صيرورة .

ويفتح الفصل الذي أجري بين الزمان والسببية النسبوية أيضاً الباب

لمقاربات أخرى . وقد لاحظ أوليقيبه كوستادي بوروغارد أنه يكون ، في الميكانيك الكوانتي استمرار الإنتقالات في المكان - زمان مفقوداً إذ أن جميع الظواهر تحلل فيه بتعابير «قفزات كوانتية» ، وعلينا والحالة هذه أن لا نستبعد إمكان حصول قفزات فجائية لمكان - زمان «مستقيم الزمان orthochrone» ، فيه يجري الزمان طبقاً للاتجاه الذي نعطيه إياه عادة ، لأمكنة - زمانية فيها يجري الزمان بعكس الاتجاه العادي . هذا الوضع يستدعي تمييزات جد بارعة ، بمقدار ما يكون صعباً أن نحفظ في الذهن في كل لحظة ، عندما نتحدث عن «زمان» دون إيضاح آخر ، بقضية معرفة ما المفهوم المقصود : المفهوم البدائي أو مفهوم نسبي موسع . مع احتمال التخلي عن الانتساب بين السببية والزمان ، كثيراً ما فتش عن تعابير جديدة ، لازمانية تماماً ، للمبدأ السببي . وقد وجدت بعض المحاولات في هذا الاتجاه ، بواسطتها نفتش عن التعبير عن السببية في إطار الاحتمالات الشرطية . ومن وجهة النظر هذه ، تدل السببية فقط على أن احتمالات تحقق حادثة لا تكون هي هي ، حسبما تكون بعض الشروط متوفرة أولاً ، دون أولوية زمانية . وهذه المحاولات التي يسهم فيها كوستادي بوروغارد ، لا تزال جدّ جديدة أو جدّ مجزأة بحيث لا نستطيع أن نصدر بشأنها حكماً نهائياً .

* * *

إن انفصالية السببية والزمان ، التي جعلتها ضرورية للانفصالية الكوانتية ، تمنح فرصة تمثيل العلاقات بين مفهوم الزمان البدائي والمبادئ التي تشتق منه في العلوم الفيزيائية وعلوم الطبيعة . وسوف يكون علينا ، من أجل تغذية هذا التفكير ، أن نلتفت من جديد إلى الوقائع ، كي نتقراها بفضل كل الرهافة التي جعلتنا وسائل التقصي الحديثة قادرين عليها .

* * *

الجزء الثالث

من الذرة إلى الكون،

انبثاق الصيرورة

الفصل الثاني عشر

زمان الذرات المعلق

نظرنا حتى الوقت الحاضر في مسألة بناء مفهوم الزمان الفيزيائي من وجهة نظر تاريخية. وقد قادنا هذا التطوير إلى تفسير الزمان السببي، الذي قسنا مقدار صعوباته وحدوده. وبتبنينا مسعى آخر، سوف نختبر الآن مدى الزمان الفيزيائي متسلقين من طرف إلى طرف آخر سلم أبعاد المنظومات، من أصغرها إلى أكبرها. وسوف نرى أن ليس للزمان تأثير على الجزئيات الأولية، التي تحكمها قوانين الميكانيك الكوانتي، منذ أن نعتبرها كمنظومات مغلقة ومعزولة. فبالنسبة للذرات، يكون الزمان إذا صح القول «معلقاً»، على حد تعبير دي لامارتين. إن ذرة معزولة، لا تستطيع، رغم احتمال قدرتها على أن تتفكك، أن تنبثا شيئاً عن جريان الزمان.

فالذرات المشعة أو الجزئيات الأولية غير المستقرة تتفكك تلقائياً. والزمان الذي يمر قبل تفكك ذرة أو جزيء متغير إلى أقصى درجة، بيد أن الذرات والجزئيات من نوع معين ذات حياة وسطية مميزة لهذا النوع. بهذا الشكل، يكون، بعد حقبة تدوم ٦,٥ مليار سنة، نصف ذرات اليورانيوم الحاضرة في بداية هذه الحقبة قد تفكك. إن المواد المشعة الطبيعية ليست وافرة، وتلك التي تكون مدة حياتها الوسطية أقل جداً من عمر الأرض زال معظمها عن سطح الكرة الأرضية. بيد أن الفيزيائيين يستطيعون أن يوجدوا، في المختبرات، بواسطة التفاعلات النووية، ذرات أو جزئيات أولية مدة حياتها الوسطية أقصر إلى ما لا نهاية من حياة اليورانيوم الوسطية. من بين هذه، لناخذ حالة الميزونات π ، التي لا تتجاوز حياتها الوسطية، في الحالة الحرة، ٠,٠٣ ميكروثانية، والميزون K ، الذي توجد منه نسختان ذات مدة حياة مختلفة، كل منهما من مرتبة واحد من مليار جزء الثانية.

إن هذه التفككات، سواء كانت طبيعية أو مثارة في المختبر، تغطي سلماً زمانياً واسعاً؛ ويكفي وجود ظاهرة عدم استقرار المادة وحده لبرهنة أن الصيرورة مندرجة في قلب الأشياء. وتمنح التفككات النووية تربة مثالية للباحثين الذين يريدون أن يلاحقوا المدة الزمانية الفيزيائية، بسبب ابتدائية وبساطة الوصف النظري (في الميكانيك الكوانتي) للأشياء الفيزيائية المعنية.

التفككات الذرية التلقائية تخضع للصدفة

إن تفكك الجزيئات غير المستقرة يبدو خاضعاً لقانون فيتو مينولوجي بسيط، مميز لظواهر تزايد الأنطروپيا. وهذا القانون هو القانون الأسّي المتناقص، الذي يعود اكتشافه في حالة الذرات المشعة إلى الأعوام الأولى من القرن العشرين. ففي ذلك العهد، كان قد سبق لماري كوري أن اكتشفت إحدى أول المواد المشعة، البلوتونيوم، ونقت مادة أخرى منها، الراديوم، بتركيزها بصبر وأناة أطناناً من فلزات الأورانيوم في سقيفة مدرسة الفيزياء والكيمياء الصناعيتين الباريزية. في عام ١٩٠٣، كان نشاط اليورانيوم والتوريوم والراديوم ومنتجاتها، كما كانت تدعى حينذاك) مادة قياسات منهجية، خاصة في مختبر إيرنست روثيرفورد وفريدريك صودّي في مونتريال. قيس نشاط هذه المواد بوضع عينة بين صفيحتي مكثفة كهربائية. وقد جعل التأين الذي حرضه النشاط الإشعاعي الهواء أو الغاز ناقلاً بين صفيحتي المكثفة. وكان تيار الإنفراغ متناسباً مع عدد الأيونات التي أوجدتها الإشعاعات بين الصفيحتين.

دون روثيرفورد وصودّي، في أثناء ملاحظاتهم، أنه في كل مرة تستعمل فيها مادة مشعة وحيدة، مع الإهتمام بفصلها عن المواد المشعة الأخرى التي ولدتها أو التي تكون متولدة فيها بدورها، يتناقص النشاط المقاس (تيار التأين) دائماً بشكل أسّي مع الزمان:

$$I(t) = I_0 e^{-\lambda t}$$

الأمر الذي يعني أن عدد الذرات المشعة الموجودة في العينة تتناقص هي ذاتها

تناقصاً أسياً مع الزمان، شريطة أن يتج كل تفكك كمية الأيونات نفسها. ونستطيع أن نقول أيضاً، باشتقاقنا رياضياً المعادلة أعلاه بالنسبة للزمان، أن «نسبة المادة المشعة التي تتحول في وحدة زمنية ثابتة». وعدد الذرات الحاضرة في اللحظة t وحده يعين عدد الذرات التي سوف تتحول في وحدة زمنية تلي، ولا يبدو أي تأثير خارجي، ما عدا كمية المادة المشعة الحاضرة، قابلاً لأن يعدل عدد التحولات الملاحظة. وقد استخلص روتير فورد وصوردي أن النشاط الإشعاعي هو خاصية مميزة للعنصر المعبر، قوامها تحطيمه الخاص. ويدعى الثابت λ ، الذي يميز سرعة هذا «التفكك» التلقائي، معدل تفكك المادة المدروسة.

لم يعلق روتير فورد وصوردي أكثر على هذا النزوع من جانب المادة إلى أن تدمر ذاتها بذاتها التي كانا قد أوضحاها للتو والتي تعيد جعل استقرار المادة ولا مباليتها بالنسبة للزمان موضوع خلاف. مع ذلك، لم يكن أنشتاين بعد، في عام ١٩٠٣، قد طرح إبدال قانون انحفاظ الكتلة بقانون انحفاظ الطاقة^(١).

بناءً على أعمال روتير فورد وصوردي، كان قانون انحطاط المواد المشعة الأساسي تقريباً يقبل دائماً دون تحفظ. وهو، عادة، يصف ظواهر إطلاق، يقابل تفريغاً مفاجئاً لطاقة تراكمت ببطء، وبددت بشكل حرارة. وهذه الظواهر متواترة في الميكانيك وفي الألكترونيات. فعندما يكون، في كل لحظة، تدفق التفريغ (تيار كهربائي مثلاً) متناسباً مع الكمون (فرق الطاقة مثلاً)، فحينذاك يتناقص التدفق شأنه شأن الكمون أسياً. ويرهانه الرياضي سهل. والظاهرة يمكن من جهة أخرى أن تتكرر بشكل دوري، بتتابع رتيب من الشحن والإنفراغ. حينذاك يكون لدينا ما

(١) إن مقال روتير فورد وصوردي، الذي يلخص ملاحظتهما، يحتوي مع ذلك على تعليقات ثاقبة حول طبيعة الإشعاعية ونتائجها الممكنة: «يجب والحالة هذه أن تكون التحولات المشعة على الأقل، $20,000$ / مرة، وربما مليون مرة، أكبر من التحول المتضمن في أي تحول جزيئي [...] لكن لا يوجد أي سبب لافتراض أن هذه الكمية الضخمة من الطاقة المختزنة تمتلكها وحسب العناصر المشعة. ويبدو محتملاً أن تكون الطاقة الذرية بصورة عامة من مرتبة كبر مماثل وبهذا القدر من الإرتفاع، مع أن غياب التحول (المشع) يمنع وجودها من أن يتجلى [...]». وواقع كون الطاقة الشمسية تبقى في الحالة نفسها، كمثال، لم يعدل ينطوي على صعوبة أساسية منذ اللحظة التي نسلم فيها بأن الطاقة الداخلية للعناصر التي تكونها يمكن أن تكون جاهزة (حررة)، بواسطة تحولات ما دون ذرية تجري (في باطنها).

نستطيع أن ندعوه «ميكاتية تيرموديناميكية»، في مقابل «الميكاتيات الميكانيكية» المؤسسة على ظواهر النوسانات المغذاة (ذات السعة الثابتة). إن الميكاتيات التيرموديناميكية، حتى في اشتغالها، تبدد طاقة؛ وعلى العكس، ما هو أساسي، في الميكاتيات الميكانيكية، أن تكون ظواهر التبديد (الإحتكاكات الميكانيكية، التيارات الأومية) مقلصة إلى أدنى حد. في مجال التطبيق، يكون قانون الإنحطاط الأسّي هو توقيع ظاهرة إطلاق. والعكس، كل ظاهرة تعزو إليها صفة ظاهرة إطلاق تكون معدودة خاضعة لقانون تغير أسّي في الزمان.

إن تفكك الجزئيات غير المستقرة يبدد حرارة. وفي الوقت نفسه، يسبب ظهور نوعين من الذرات على الأقل في باطن العينة، لأن البعض منها يتحول والبعض الآخر لا. ويعطي الكشف عدد الذرات التي تفككت، لكنه لا يحدد أيها. ونستطيع أن نظهر أن الإلتباس المقابل، المقيّم بعيارات إعلامية، يتيح تقدير تزايد الانطروپيا المقابلة الأدنى^(١). إن العينة المشعة تشكل حقاً ميكاتية تيرموديناميكية.

مع ذلك، لا يبدو تفكك الجزئيات غير المستقرة ظاهرة إطلاق عادية، لسببين، أولاً، في ظواهر الإطلاق، يجب أن يكون التدفق والكمون متناسبين؛ بيد أنه ليس من السهل أن نعرف هنا لماذا ينبغي أن يكون التدفق (عدد التفككات في الثانية) متناسباً مع الكمون (كتلة العينة). ثانياً، تعاني النظرية الراهنة بعض الصعوبة في تبرير قانون الإنحطاط الأسّي وتميل بالأحرى إلى توقع قانون يختلف اختلافاً زهيداً.

ومن أجل أن يكون عدد التفككات في الثانية متناسباً مع كتلة العينة الملاحظة، يجب من جهة أن تكون كل ذرات عينة مشعة موجودة في اللحظة t تملك عين الإحتمال بأن تفكك في غضون الفاصلة الزمانية التي تلي، ومن جهة أخرى أن يكون لكل ذرة، إذا ما أخذت بمفردها، شريطة أن توجد في حالة عدم تفكك في اللحظة t ، عين الإحتمال في أن تتفكك في غضون الفاصلة الزمانية التي تلي، مهما

(١) إن الجمهرة البدئية من ذرات نوع معين، متجانس وبالتالي قابل للوصف بحد أدنى من الإعلام، تتحول إلى جمهرة لا متجانسة من أنواع مختلفة. قد يتطلب وصف توزيعها في باطن العينة إعلاماً مفصلاً أكثر.

كانت اللحظة **المعتبرة**. وهذان الشرطان ينبغي أن لا نخلط بينهما. والثاني هو الأهم في وجهة النظر التي تشغلنا، إذ إنه هو الذي ينفي أن يكون للمفهوم الزماني أو الخاص بالمدة الزمانية معنى عندما نطبقه على ذرة واحدة. إنه، بالإجمال، يعبر عن عدم اهتمام كل ذرة بالنسبة لماضيها الخاص. وهو يؤكد أن المدة الزمانية هي ظاهرة جماعية، ظاهرة تستعمل بالضرورة مجموعات: باختصار، إن الأمر هو أمر ظاهرة تيرموديناميكية.

إن هذا الشرط المعلوم تحت اسم **قاعدة فيرمي الذهبية** حصل على برهانه في إطار الميكانيك الكوانتي. بيد أن البرهان المعني يستدعي تقريباً لا يستطيع أن يكون مبرراً تماماً. ينتج من ذلك أن التفككات المشعة ربما سوف لن تخضع بصراحة لقانون الإنحاط الأسّي.

نفترض، في برهان قاعدة فيرمي الذهبية، أن كامل طاقة التفكك يمكن أن يأخذ أية قيمة، موجبة أو سالبة، في حين أن هذه الطاقة تكون دائماً موجبة، من حيث المبدأ، يبدو التقريب الذي تم القيام به ذا أهمية ضعيفة: من جراء قانون انحفاظ الطاقة، تكون الطاقة النهائية للحالات المتفككة دائماً قريبة جداً من الكتلة الأصلية (الموجبة) للذرة أو للجزيء قبل تفككها (تفككه). والفرق المحتمل محدود بعلاقة عدم التعيين الرابعة لها يزنبغ التي تربط بين الاختلافات الممكنة في بيان الطاقة ومدة حياة الذرة أو الجزيء غير المستقر، وإذا ما أخذنا بالحسبان في حساب شرط موجبيه الطاقة النهائية بشكل دقيق، نجد أن احتمال التفكك، بدلاً من أن يكون ثابتاً كما تقضي بذلك قاعدة فيرمي الذهبية، ربما ينبغي أن يتناقص بشكل طفيف جداً في غضون الزمان.

هكذا، ربما ينبغي أن نلاحظ، بدلاً من قانون أسّي بشكل صرف للتفكك، تناقصاً أقل بالنسبة للمدد الزمانية الكبيرة جداً. إذا صح القول، ربما تشيخ الذرة قليلاً، ويكون حظها في أن تتفكك أقل فأقل؛ بيد أن الفارق بالنسبة لما يتوقعه قانون أسّي بشكل صرف لا يكون محسوساً حقاً إلا بالنسبة لمدد حياته من مرتبة ثلاثين حياة وسطية أو أكثر.

في الواقع إن الاختلاف في السلوك هو من الضلالة، على الصعيد الكوانتي، بحيث أنه لم يوضح بعد في الملاحظات التجريبية وربما نستطيع أن نتخيل تجربة تستعمل مسرّع جزيئات لاختبار قانون الإنحطاط الأسّي بكل الدقة المطلوبة، مثلاً بملاحظتنا تفكك مليار مليار ميزون پيس. وهذه تجربة قد تكون تجربة شاقة تقتضي عدة سنوات عمل. فهل إن إيضاح فارق بهذه الضلالة بالنسبة لقانون بسيط ربما يستحق هذا الجهد؟ بالتأكيد، لأن الأهمية الإيستيمولوجية لمثل هذه التجربة جوهرية. فافتراضنا أن فارقاً في قانون الإنحطاط الأسّي ربما سوف يلاحظ، هو أمر ربما سوف يعني أن الجزئيات «الأولية» ليست في الواقع غير متأثرة بالزمان الذي يمر؛ والتأكيد الذي يكون بموجبه الدوام الزماني نموذجاً صالحاً وحسب بالنسبة للمجموعات الذرية الكبرى، مفهوماً عيانياً، ربما سوف يلغى مكذباً. وفي الحالة المعاكسة حيث ربما تؤكد القياسات صحة قانون الإنحطاط الأسّي رغماً عن التصحيحات التي توقعتها النظرية، فإن الطابع الجماعي للدوام الزماني سوف يكون مؤكداً، بيد أننا قد لا نستطيع الإفلات من الاستنتاج الذي بموجبه ربما لن يكون المتغيران «طاقة» و «زمان»، الموصوفان على أنهما مقترنان في الميكانيك الكوانتي، هما المتغيران المقاسان بالفعل بواسطة أجهزة القياسية. وقد يكون من المناسب حينذاك أن نعيد تعريفهما، مثلاً بنظرنا في «زمان» كوانتي، يختلف عن الزمان الكلاسيكي، ربما سوف يكون مرتبطاً به بواسطة نوع مبدأ تقابل... وقد سبق لإيليا بريغوجين وفريقه أن طوروا مقارنة من هذا القبيل.

عكس الزمان: عملية نظرية

يجب أن يكون زمان الميكانيك الكوانتي والزمان الكلاسيكي متمايزين في مسألة عكس الزمان.

لا ريب أن المصطلح الذي أدخله هنا منظرو الميكانيك الكوانتي ليس جدياً موافق، لأن تعبير «عكس الزمان» يتعارض حتى مع تعريف المفهوم الزماني البدائي. وحتى في الفيزياء النسبوية، حيث نستطيع أن ننظر في أوضاع وبيئات

وتجارب فيزيائية بحيث يمكن أن يكون إيقاع ميقاتية معدلاً بشكل عميق ، لا نصادف أبداً أوضاعاً حيث يكون اتجاه تغير الزمان معكوساً . وتوهم لونيوفان ، لدى عودته من رحلته ، ربما يستطيع أن يعيش على الأرض في القرن الثاني والعشرين ، لكنه قد لا يكون باستطاعته أبداً أن يحيا من جديد في عهد فرانسوا الأول . فالزمان النسبي يهرب دائماً نحو الأمام ، حتى لو لم تدق كل الميقاتيات الثانية عيناها .

يعني يجب أن يكون التعبير مأخوذاً بمعنى مجازي ، لا حرفياً . فأن نعكس الزمان ، هو أن نتخيل موجوداً خارقاً موهوباً ذاكرة «معكوسة» تتذكر المستقبل^(١) ، ونتساءل ما إذا كانت ، بالنسبة لهذا الموجود ، قوانين الفيزياء ربما سوف تصبح مختلفة عن تلك التي نعرفها . عملياً ، معنى ذلك أن نبدلها بعكسها ، في معادلات النظرية الأساسية ، أي المقادير أزمنة وسرعة وتيارات ، في كل مرة تبدو فيها . فإذا ما بقيت القوانين مطابقة لنفسها بعد هذه التحويلات ، فسوف نستنتج أن الماضي والمستقبل قابلان للتبادل فيما بينهما من وجهة نظر النظرية الفيزيائية : وسوف نتحدث عن تناظر للطبيعة عبر عكس الزمان . وإذا كانت مختلفة ، سوف نقول إن هذا التناظر مفقود ، أو أنه قد خرق . إن غياب التناظر عبر عكس الزمان يتضمن بالطبع أن ليست الطبيعة غير متأثرة بجريان الزمان ، وأن «المتجهة الزمان» دلالة موضوعية .

كل القوانين القاعدية في الفيزياء تخضع في الواقع لتناظر عبر عكس الزمان ، سواء أكان الأمر في الميكانيك الكلاسيكي ، أو في الميكانيك الكوانتي أو في النسبية . وبالتالي فإن اللاتناظر الملاحظ في تطور المنظومات المادية العيانية التي دراستها هي مادة التيرموديناميك ، لا يمكن أن تكون معزوة إلا إلى شروط حدية خاصة جداً ، لا تزال إلى يومنا موضحة بشكل ناقص ، وربما مرتبطة بطور توسع الكون الراهن .

من جهة أخرى ، لقد نص ، في أعوام ١٩٥٠ ، جولييان شوينغر وجير هارت

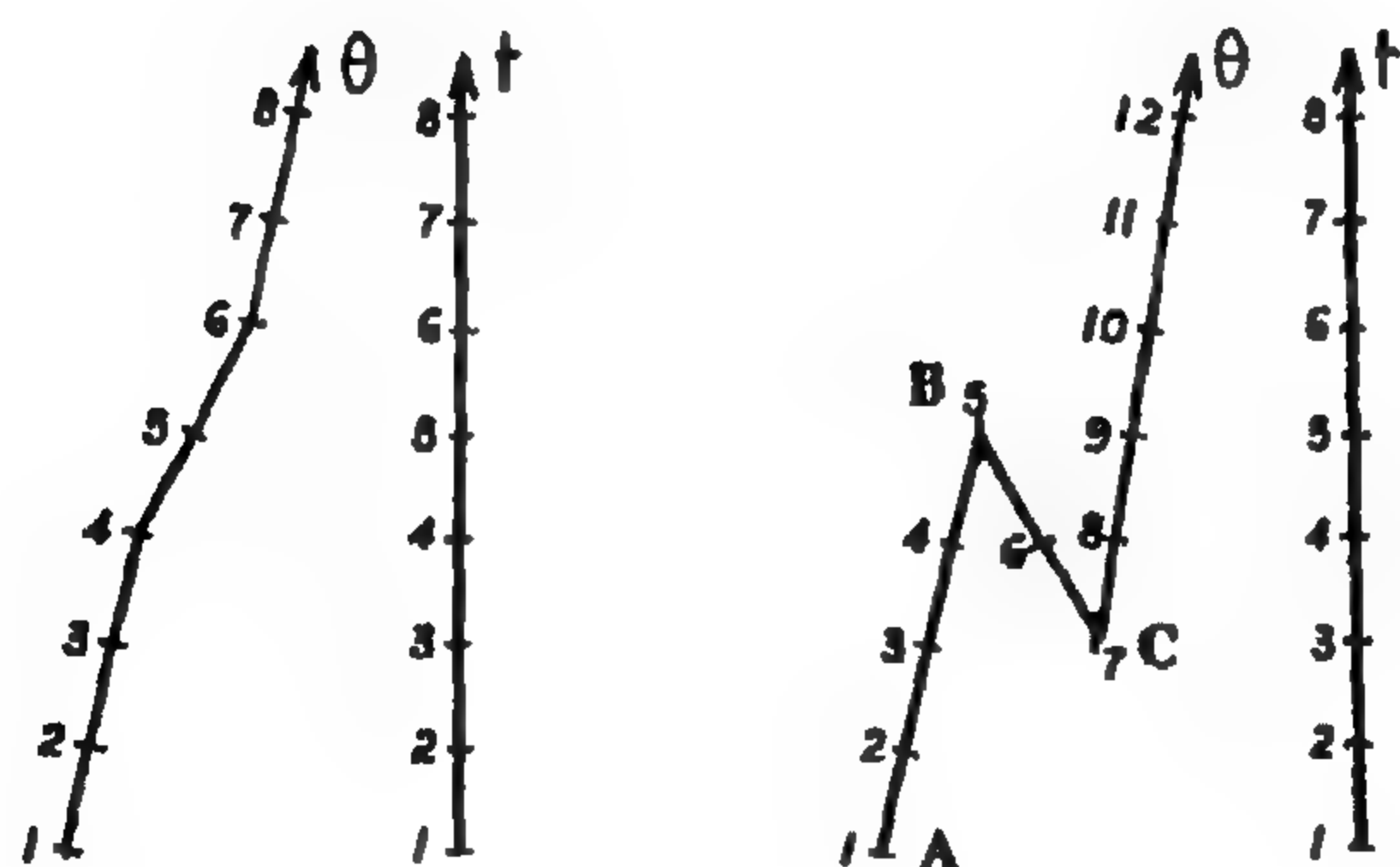
(١) مثلاً ، إنه يرى الميقاتيات تخفض الساعات ، والأنهار ترجع إلى منابعها ، الخ ، وبالنسبة له يكون للمعالم المظهر نفسه الذي يكون بالنسبة لنا عندما ننظر إلى فيلم ملفوف بالقلوب ويبدأ عرضه من النهاية .

لوديرس وولفغانغ بولي نظرية تثبت ، على أساس فرضيات جدّ عامة ، وجود تناظر إجمالي في الطبيعة ، يدعى «تناظر CPT» . هذا التناظر يعني أن تطبيق العمليات الثلاث التالية على منظومة ما ، بترتيب ما ، ربما يسترد منظومة قد لا تستطيع ، من وجهة نظر الفيزياء ، أن تكون متميزة عن الأولى :

- إبدال الجزيئات بمضادات (يُخلّ محل البروتونات مضادات البروتونات ، ومحل الألكترونات بوزيترونات ، ومحل الميزونات π^+ ميزونات π^- ، الخ) . وهذه هي العملية المدعوة عملية «الإقتران الشحني» ، الممثلة عادة بالحرف «C» ؛
- قلب يمين/ يسار ، كما لو كنا ننظر إلى المشهد منعكساً في مرآة . وهذه هي العملية المدعوة «تعاذية» . وتمثلها عادة بالحرف «P» ؛

- عكس الزمان ، أي نتخيل أن المشهد يراه شاهدا ذو الذاكرة المقلوبة . وعادة ما تمثل هذه العملية بالحرف «T» .

ولكي نجعل هذه التجريدات ملموسة أكثر ، لنر كيف يمكن مثلاً أن يتكافأ حديثنا عن جزيئات عادية ترجع القهقري في الزمان أو عن مضادات جزيئات تطوي الزمان في الاتجاه المألوف (فاينمان) . لنفترض للحظة أنه يوجد في الطبيعة فصل بين ترتيب التابع الزماني ، الذي ندعوه t ، والترتيب السببي ، الذي ندعوه θ . فالشكل ١٠ يمثل «مسار» جزيء ما .



في الشكل الواقع إلى اليسار، يجري هذا المسار طبيعياً وفق الترتيب المتزايد لثابتة (Parametre) السببية ووفق الترتيب المتزايد للتابع الزماني . والصورة البسيطة هي صورة جزيء عادي، يبقى بلا حادث من اللحظة t_1 إلى اللحظة t_8 .

في الشكل الواقع إلى اليمين، ما عاد الترتيب السببي مطابقاً للترتيب الزماني . والمسار يمثل مسير جزيء عادي «يرجع القهقري في الزمان» بين «الدقتين» $\Theta = 5$ و $\Theta = 7$ للثابتة السببية . ويمكن أيضاً أن يفسر بمراعاتنا جريان الزمان العادي؛ في النقطة $c, \Theta = 7$ ($t=3$)، نلاحظ نشوء زوج جزيء (الفرع الأيمن) - مضاد جزيء (الفرع الأيسر) . هذا الأخير يتلاشى، في الزمان $t=5$ ، مع جزيء عادي مساره ممثل بالقطعة AB . على هذا الحال، هذا الشكل الذي يمثل بالنسبة للملاحظ واقعي ظاهرة نشوء وتلاشي تشارك جزيئين ومضاد جزيء معقدة، هل ربما يمكن أن يفسر أيضاً بالنسبة للملاحظ متحرر من متاهجة الزمان على أنه مسار جزيء، وحيد يتعرج في خلال الزمان .

إذا كانت النظرية CPT صالحة، فإن ظاهرة من ظواهر الطبيعة لا تكون متناظرة بالنسبة لعملية ما من العمليات الثلاث C أو p أو T لا تستطيع أن تكون متناظرة بالنسبة للزوج المتمم من العمليات، PT، CT أو CP . والحال، لقد اكتشفت في عام ١٩٦٤ ظاهرة نموذجية، فيها، من الجلي أنه لا يوجد حفاظ للتناظر CP : والأمر يتعلق بتفكك الجزيئات K^0 ذات الحياة الطويلة، وفق النظرية CPT، نمسك والحالة هذه ثم بمثال بالنسبة له ربما لا يكون لازماً أن يوجد تناظر من النموذج T، أي بعكس للزمان . مع أن الظاهرة لا تخص غير بعض النماذج المحددة بدقة لتفاعلات متبادلة بين جزيئات أولية، وربما كان ذلك يمكن أن يعني أن متاهجة الزمان توجد لا في التيرموديناميك وحسب، بل وأيضاً على سوية الجزيئات الفردية .

حالة ظاهرة لاتناظرية:

تفكك الجزيئات K

في عام ١٩٥١، كانت الجزيئات K قد اكتشفت . لكونها ناشئة من اصطدامات الأشعة الكونية النووية بالجو، فإن لها مدة حياة خاصة تبلغ عشرة من مليار جزء الثانية فقط (بالنسبة للتشكيلة المدعوة «ذات حياة طويلة»). ومنذ أن وجدت سرعات جزيئات، درست خصائص الميزونات K بكثرة، وهي تتفكك بفعل تفاعل متبادل ضعيف، في معظم الأحيان إلى ثلاثة جزيئات أخف (من بين الميزونات π ، والميزونات μ ، والالكترونات والنوترينوسات). ونعرف، منذ عام ١٩٥٦، أن التفاعلات المتبادلة الضعيفة لا تخضع لا إلى تناظر عبر تكافؤ العملية « P »، ولا إلى تناظر عبر اقتران شحني (العملية « C »)، لكن حتى عام ١٩٦٤ كان يعتقد أنها تستجيب بالعكس للتناظر المزدوج « CP »، وبالتالي للتناظر بعكس الزمان. وكان ذلك، على ما كان يعتقد، هو السبب الذي من أجله ربما سوف لا يتفكك الميزون K ذو الحياة الطويلة إلى ميزونين π ، لأن النظرية تثبت أن التناظر « CP » في هذه الحالة ربما سوف لن يكون مراعى .

والحال، أن كريستونس وكرونان وفينش وتورلي الذين كانوا يدرسون في مختبر بروكهافن الأميركي، تفاعلات K المتبادلة مع الهيدروجين لاحظوا أن جزءاً ضئيلاً من الميزونات K ذات الحياة الطويلة كان في الواقع يتفكك إلى ميزونات π . والتفاعل المتبادل المسؤول عن تفككها لا يراعى والحالة هذه تماماً التناظر CP .

إذا لم يكن التناظر CP مراعى، حتى بقياس ضعيف (سعة الخرق في تفكك الميزونات K ليست إلا بعض في المئة)، وإذا كانت النظرية CPT صالحة، حينذاك يجب أن يوجد أيضاً في تفكك الـ K ميكانيكية تخرق التناظر بفعل عكس الزمان.

على هذا الحال، من جراء كون واقع أنه توجد سيرورات بحيث يضعنا تفكك الميزونات K ذات الحياة الطويلة إلى ميزونين π أمام المأزق (المتحارجة)

التالي : إما أن لا تكون هذه السيرورات عكوسة ، لا تكون غير متأثرة باتجاه جريان الزمان ، وفي هذه الحالة توفر لنا الطبيعة ، على السلم الابتدائي وبشكل مستقل عن كل إرجاع ذاتي ، معياراً مطلقاً لاتجاه جريان الزمان . مع أنه ليس للظاهرة التي نحن بصددتها على الأرجح أية علاقة بشيخوخة المادة التي يبلغ عنها قانون التيرموديناميك الثاني .، وإما أن لا تكون النظرية CPT مستجابة في الطبيعة ، لأن فرضية ما من الفرضيات القاعدية ليست صحيحة . وإحدى هذه الفرضيات ، الأقل متانة على ما يحتمل ، هي أن على المعادلة الحقلية التي تحكم تطور منظومة كوانتية أن تكون موضعية ، أي أن يكون ممكناً وصف سلوك المنظومة فقط إنطلاقاً من قيم أو من حقول كوانتية في موضع المنظومة المدروسة أو في جوارها المباشر : أفلا تفتح قليلاً ، الإكتشافات الأخيرة حول اللا- موضعية في الميكانيك الكوانتي الباب لخذل النظرية CPT ؟ سوف يكون على المنظرين أن يردوا على هذا السؤال .

اختبارات مباشرة للتناظر الزماني

تُخيلت ، من أجل تجريب أكثر وضوحاً في هذه المتحارجة ذات الحدين ، روائز على أمل أن يوضح ، بشكل مباشر أكثر ، خرق محتمل للتناظر الزماني في فيزياء الجزيئات ، والرائز الدقيق أكثر هو بلا شك رائز قياس «العزم الكهربائي المزدوج القطب» للنوترون . فهذا النوترون هو جزيء اجمالاً حيادي من وجهة النظر الخاصة بالشحنة الكهربائية ، إلا أنه قد يستطيع أن يحتوي على شحنات كهربائية موجبة وسالبة بعدد متساوٍ ، تفرق افتراقاً زهيداً بعضها بالنسبة للبعض الآخر . فإذا كان مركزاً ثقل الشحن الموجبة والسالبة غير متطابقين ، فسوف يكون للنوترون عزم كهربائي مزدوج القطب غير معدوم ، إلا أن التناظر عبر عكس للزمان قد لا يكون حينذاك مراعى .

فالنوترون هو منظومة ابتدائية مجهزة بتناظر دوراني ، وعزمه الزاوي الباطني ، أو «السين» ، يحدد اتجاهها مميزاً في المكان ووحيداً . فالإنزياح (الإفتراق)

بين مراكز ثقل الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة ، إذا ما كان موجوداً ، فسوف يصبح مصفوفاً بمحاذاة هذا المحور ، وعندما يكون القطب المزدوج ، موضوعاً في حقل كهربائي ، فإنه قد يميل إلى أن يصطف في اتجاه الحقل ، ممارساً على المنظومة مزدوجة ضئيلة . والحالة هذه ، ومهما كان قليلاً عدم تطابق اتجاه الحقل الكهربائي الخارجي مع اتجاه السبين ، فإن المنظومة قد تتم حركة انفتال حول اتجاه الحقل الكهربائي ، كخدروف (دوامة) خاضع احتمالياً لمزدوجة ضئيلة .

في مواجهة هذا المشهد ، ما الذي ربما يلاحظه شاهدنا الموهوب ذاكرة مقلوبة ؟ بالنسبة له ربما تتم حركة الإنفتال في اتجاه بالمقلوب ، في حين أن الحقل الكهربائي الناتج من شحنة كهربائية ثابتة موضوعة على بعد ربما لا يكون قد تغير . فالحقل الكهربائي نفسه والقلب الكهربائي المزدوج نفسه يُعَيَّنَان والحالة هذه مفاعيل متعاكسة بالنسبة لملاحظ سوي ولملاحظ ذي ذاكرة مقلوبة . فإذا كان النوترون مجهزاً بعزم كهربائي مزدوج القطب ، فلن يكون هناك تناظر عبر عكس للزمان . ومن المفيد أن نوضح أنه خلافاً للحقل الكهربائي الذي توجده شحنة ثابتة ، تكون الحقول المغناطيسية التي توجد بها تيارات مقلوبة بالنسبة لملاحظ موهوب ذاكرة مقلوبة ، بحيث أن لا شيء يقاوم وجود عزوم مغناطيسية للجزئيات الأولية .

وقد حققت فرق عديدة في العالم تجارب كي يوضح ، بشكل بالغ الدقة ، عزمياً كهربائياً مزدوج القطب للنوترون محتملاً وجوده . إن النوترونات الموضوعة في حقل مغناطيسي ، من جراء عزمها المغناطيسي الخاص (الذاتي) ، تتم حركة انفتالية نستطيع قياس تواترها . والأمر هو أمر كشف التغير الزهيد لتواتر الإنفتال الذي ربما يكون مُحَثّاً بفعل عزمها الكهربائي مزدوج القطب عندما نضيف حقلاً كهربائياً إلى الحقل المغناطيسي السابق .

وتعطي آخر القياسات كحد أعلى للعزم الكهربائي مزدوج القطب للنوترون ، قيمة تقل عن $(10) \cdot 10^{-18} \text{ e.cm}$. وقيمة كهذه يبدو أنها تستبعد خرقاً للتناظر عبر عكس للزمان في حالة النوترون ، في النطاق الذي نعتقد فيه أن

الكواركات التي ربما تستطيع أن تؤلف هذا الجزيء ربما ينبغي عليها أن تكون ذات أبعاد من مرتبة $(10^{-15}) \text{ cm}$ وشحنة تساوي في قيمتها المطلقة $\frac{1}{3}$ أو $\frac{2}{3}$ شحنة الإلكترون.

رائز مباشر آخر للتناظر عبر عكس للزمان يركز على البحث عن شحن مغناطيسية معزولة. وندعوها «وحدات قطب مغناطيسية». وقد أوحى بإمكان وجودها منذ عام ١٩١١ ديراك، من أجل إصلاح تناظر معادلات ماكسويل، التي تدخل شحناً كهربائية ابتدائية، لكن ليس شحناً مغناطيسية ابتدائية. والصعوبة والأهمية تكمن في واقع أن وحدات الأقطاب المغناطيسية، شأنها شأن ازدواجية الأقطاب الكهربائية، تخرق التناظر عبر عكس للزمان.

لنتفحص مثلاً وحيد قطب مغناطيسي موضوع أمام حلقة تيار يوجد حقلاً مغناطيسياً. فإذا كان الحقل المغناطيسي، وبالتالي التيار في الحلقة، من اتجاه مناسب، فإنه يجذب وحيد القطب، الذي يتم حركة منتظمة متسارعة في اتجاه الحقل المغناطيسي. وبالنسبة لملاحظ ذي ذاكرة مقلوبة، يكون التيار، وبالتالي الحقل المغناطيسي، مقلوبين؛ بيد أن وحيد القطب يتم دائماً حركة منتظمة متسارعة في الاتجاه السابرق، حتى لو كانت السرعة الابتدائية قد قلبت. ويكون حينذاك اتجاه الحقل المغناطيسي والتسارع الذي يخضع له. وحيد القطب في اتجاهين متعارضين، على النقيض مما يراه مراقب سوي. والتناظر عبر عكس للزمان لا يكون مراعى.

تم البحث عن وحدات قطب مغناطيسية في أعماق البحار، وفي الأحجار القمرية وفي الأشعة الكونية، الخ، ولم يعثر عليها، رغم ملاحظة مقلقة تمت في ١٤ شباط من عام ١٩٨٢، كانت قد فسرت لبعض الوقت على أنها بصمة مرور وحيد قطب كوني عبر حلقة سولينويثيد (ملف لولبي). وفي ذلك اليوم، سجل، في مختبر ستانغورد في الولايات المتحدة، فخ ذو قطب مغناطيسي وحيد، مؤلف من حلقة ملف لولبي ذات ناقلية فائقة يجتازها تيار ثابت، تغيراً فجائياً في شدة التيار بقيمة تقابل اجتياز وحيد قطب مغناطيسي مستوي الحلقة شحنته $137 \text{ ec}/2$ (قيمة شحنة وحدات القطب المغناطيسية التي تتوقعها النظرية)، وحيث أن التيار

ثابت مع خسارات تقريبية ناجمة عن بعض الهدر في حلقة فائقة الناقلية، ما عدا المفاعيل المغناطيسية الخارجية، فلا يمكن أن يفسر التغير في طبقة الشدة إلا على أنه نتيجة ظاهرة مغناطيسية: باجتياز وحيد قطب للحلقة وحادث طارئ غير مشروح. وهذه الملاحظة الوحيدة لم تتكرر أبداً مع ذلك، وسوف كان ينبغي أن تتكرر لو أن وحيدات القطب المغناطيسية كانت عديدة بما يكفي حتى تمنح الملاحظة بعض الاحتمال. صحيح أن وحيدات القطب المغناطيسية، حتى لو وجدت، فسوف يكون ممكناً أن تكون نادرة إلى أقصى حد. وتوحي محاجات كوسمولوجية بأن التدفق الراهن لوحيدات القطب على الأرض ربما يكون أقل من وحيد قطب لكل متر مربع في كل / ١٠٠,٠٠٠ / سنة!



إن أهمية البحث من أجل توضيح ظواهر لا تراعي التناظر عبر عكس للزمان قد أعيد إحيائها، في السنوات الأخيرة، بالتحديد الدقيق المتزايد للنماذج المدعوة «ذات توحيد كبير»، التي تسعى إلى أن توحد، في حالة الطاقة العالية جداً، حقول القوى النووية (تفاعل متبادل قوي)، والكهرطيسية، والضعيفة (المسؤولة عن التفكك). وفق النموذج، ينبغي أن يوجد بشكل أساسي تماثل طبيعي واستمرارية خواص بين هذه القوى الطبيعية المختلفة. وبما أننا نعرف في الوقت الحاضر أن التفاعلات المتبادلة الضعيفة لا تخضع للتناظر بالنسبة للعملية CP وأنه قد برهن مؤخراً أن ذلك كان يصح أيضاً على التفاعلات الكهرطيسية، فرمما يجب أن يكون الأمر على هذا الحال بالنسبة للتفاعلات المتبادلة القوية، وبناء على التماثل المصادر عليه بين جميع التفاعلات المتبادلة النووية وعلى الانتهاك العام للتناظر CP الذي ربما يكون مرتبطاً به، فإن هذا النموذج قد توقع أيضاً أن البروتون نفسه كان يجب أن يكون غير مستقر، مع أن مدة حياته ربما يمكن أن تكون طويلة جداً: من مرتبة (١٠)^{٣٢} سنة أو أكثر! وقد حاولت تجارب عديدة مؤخراً إيضاح عدم الاستقرار الطبيعي للبروتون، بمراقبة عدة أمتار مكعبة من مادة مهدرجة بلا انقطاع، وقد

حققت هذه التجارب في أعماق مناجم الذهب الأكثر عمقاً أو في أنفاق متوغلة تحت تضاريس عالية، بحيث تحمي الكشف من كل تأثير للأشعة الكونية.

وكتفكك الـ K ذي الحياة الطويلة إلى زوج پيس ربما يكون عدم استقرار البروتون بدهة جديداً غير مباشرة لخرق التناظر عبر عكس للزمان، بيد أنه لم تأت أية محاولة من هذه المحاولات بعد، في وقتنا الراهن، بالبرهان على عدم الاستقرار الذي نبحت عنه.

هل ربما تكون الطبيعة فعلاً غير متأثرة باتجاه جريان الزمان والنظرية CPT غير صالحة بدقة؟ هل ربما تكون متجهة الزمان غير مندرجة في قلب القوانين التي تحكم القوى الذرية، وفي مثل هذه الحالة ربما يكون العالم الواقعي، بما في ذلك توسعه الكوسمولوجي، معقولاً بالقدر نفسه، وقابلاً للفهم بالقدر نفسه بالنسبة لملاحظ موهوب ذاكرة بالمللوب؟ وعلينا أن لا ننسى أن نظرية النسبية تتوقع حقاً الإمكان المناظر للتوسع، يعني التقلص، ثم انهداد الكون النهائي على نفسه، مفضياً إلى تفرد جديد، الـ Big Crunch التقلص الأعظم. يوحى لنا مبدأ التقنين (الإقتصاد) أن لا نعزو للطبيعة غير ما لا غنى عنه وأن لا نتخلى -إلا لسبب قاهر- عن الموقف الفلسفي المريح الذي وفقه نفخت الصيرورة في المادة في الزمان صفر كي تمنحها اندفاعتها، دون أن تكون هذه الإندفاع متمية إليها بحق. الم يرد في النصوص المقدسة أن الإنسان ولد من نفخه الروح على الصلصال؟

* * *

الفصل الثالث عشر

عمر الأشياء / ترتيب وفوضى

أنطروبيا وإعلام

كانت السماء، بالنسبة للعلماء القدماء، موضع الكمال والتناغم وانعدام قابلية الفساد. أما على الأرض، فقد كانت بالمقابل، تتجلى بداهة التغير والدوام الزماني. والإنسان، ما أن يغمض عينيه ويسائل وعيه (ضميره)، حتى يتحقق من وجود الزمان المُعاش. وتعلمه التجربة اليومية، عندما يفتح عينيه، بأن الأشياء حوله تشيخ أيضاً.

والغريب في الأمر، أن تطور العلم حتى ماضٍ قريب كان من أثره عكس هذا المنظور، بجعله السماء موضع التاريخ، في حين كان الزمان يتلاشى من الفيزياء الأرضية. ويعرض لنا، تقدم الكوسمولوجيا، المؤسسة على نظرية النسبية العامة وعلى الملاحظات الفلكية، كوناً غير مستقر، لا يوجد إلا في الزمان وحالته الراهنة غير قابلة للإنفصال عن تاريخه. وعلى النقيض من ذلك، جرد تطور الفيزياء التجريبية الزمان بالتدرج من إحدى صفاته الأساسية، من الصيرورة. وقد أكمل التفسير السببي للزمان، المرتبط ببسط المكان-زمان النسبوي (الذي يكون فيه كل بعد مكاني وزماني في الواقع من طبيعة مكافئة) حرمان الزمان من «متجهته» (سهمه). إن اللاعكوسية الزمانية، وقد طردت من النظريات الفيزيائية قامت بعملية رجوع سرية، بدءاً من منتصف القرن الماضي، على يد التيرموديناميك، أو علم الآلات الحرارية.

وكان سادي كارنو قد اكتشف، في ملاحظاته حول الإستطاعة المحركة للنار،

أن تحول الحرارة إلى طاقة ميكانيكية كان محدوداً، في التطبيق، بفعل الاتجاه غير العكوس الذي يتم فيه نقل الحرارة بين أجسام ذات درجات حرارة مختلفة: فنقل الحرارة التلقائي يجري دائماً وحسراً من الأجسام الساخنة نحو الأجسام الباردة. وهذه الخاصية ليست وحسب النموذج المثالي، بل وعلى الأرجح أساس اللاعكوسية الزمانية بعينه. **والأنطروپيا** هي المقدار الفيزيائي الذي يتيح تكميم هذه اللاعكوسية في علاقاتها مع انتقالات الحرارة.

انطروپيا وحرارة

إن معادلة فورييه، التي تصف انتشار الحرارة في الأوساط المتصلة (١٨١١)، تتناقض مع معادلات الميكانيك الأساسية، من حيث كونها غير عكوسية بالنسبة للزمان^(١). بيد أن هذه الخاصيته، البديهية اليوم، لم تكن قد لوحظت للوهلة الأولى، وللمعادلات الأخرى التي تصف الظواهر اللاعكوسية (معادلة فيك بالنسبة لانتشار المادة) شكل شبيه بمعادلة فورييه، بالتأكيد لأنها تعبر كلها، في نهاية المطاف، عن تبديد للطاقة بشكل حرارة، وحتى تفكك المواد المشعة يظهر في نهاية المطاف، عن تبديد للطاقة عبر تبديد حرارة، كما تؤكد ذلك الحرارة الأرضية، التي يغذيها تفكك المعادن المشعة في طبقات الكرة الأرضية العميقة.

نحن منقادون والحالة هذه إلى اعتبار لاعكوسية تدفقات الحرارة على أنها النموذج المثالي للتجليات الفيزيائية للاعكوسية الزمانية. وهذه ملاحظة هامة إذ، لو كانت صحيحة، لو كانت كل أمثلة اللاعكوسية المشاهدة في الفيزياء على سلمنا، تستطيع بالفعل أن تقترن مباشرة بتبادلات حرارة، فإن تحليل هذه السيوررات اللاعكوسية ينبغي أن يُستطاع إجراؤه بطريقة موضوعية بشكل محض، بدءاً من مقادير تيرموديناميكية كالحرارة ودرجة الحرارة، الخ. ويمكن أن تبدو هذه المقادير الأخيرة موضوعية بدرجة أقل من القياسات الأخرى المستعملة في الفيزياء، كالكتلة والطاقة، لأنها لا تصف جزئيات فردية، بل مجموعات كبيرة من

(١) إنها تتبدل إذا بدلنا t بـ $-t$ ؛ بعبارات أخرى، إنها ليست مصاغة إلا كي تنطبق على توقعات نحو المستقبل، ولا تعطي نتائج صحيحة إذا ما طبقناها بالماضي.

الجزئيات . ، ومع ذلك ، تقبل الحرارة ودرجة الحرارة ، في الفيزياء الإحصائية ، تفسيراً من غط تقليص ، بتعابير متوسط موضوعي لطاقة هيجان (اضطراب) الجزئيات المكونة للجسم ، تكفي من أجل منحها «الموضوعية» التي نحن بصدددها . إن ضرورة تعريفنا بشكل موضوعي مقاديراً تيرموديناميكية تشكل مبدأ تقنين (اقتصاد) لن يكون جميع الإيبيستيمولوجين متفقين بخصوصه ، لكن من المناسب أن تتم المحافظة عليه حتى تجبرنا الوقائع التجريبية ، احتمالاً ، على التخلي عنه .

إن لاعكوسية معادلة فورييه بالنسبة للزمان لا تعني أن قوانين الطبيعة ربما سوف تقوم ، بحق ، بتمييز بين الماضي والمستقبل . ببساطة ، نتبين أن المنظومات التي ربما تخضع لمعادلة فورييه بعد عكس للزمان لا توجد في الطبيعة . ولدى المنظومات التي نلاحظها بالفعل ، تحدث انتقالات الحرارة التلقائية دائماً من الأجسام الساخنة نحو الأجسام الباردة ؛ بشكل أعم ، إننا نراها دائماً «تشيخ» ، ولا نراها أبداً «تستعيد فتوتها» .

اختراع الأنطروپيا .

من أجل أن نفهم بشكل جيد دلالة مفهوم الأنطروپيا ، الذي اخترعه الفيزيائي الألماني رودولف كلوزيوس ما بين ١٨٥٠ (إدخال المفهوم) و١٨٦٥ (إدخال التعبير المقابل) ، من المفيد أن نضع أنفسنا في روح ذلك العهد .

كانت السنون التي سبقت قد استُخدمت لتوضيح قانون حفظ الطاقة العام ، عبر مختلف تحولاتها (من طاقة ميكانيكية إلى حرارة ، إلى طاقة كهربائية ، إلى طاقة كيميائية ، الخ .) . وقد عبأ هذا العمل قسماً كبيراً من الجماعة العلمية الدولية (سادي كارنو ، روبرت مايير ، جامس جول ، هيرمان فون هيلمولتز . . .) ولم يكتمل بالفعل إلا منذ بعض الوقت : ويجب أن يكون النص الأكثر عمومية لقانون انحفاظ الطاقة بلا شك معزواً إلى هلمولتز في عام ١٨٤٧ .

وقد طالب كلوزيوس ، في عام ١٨٥٠ ، بحماية لمواطنه مايير بابوة قانون انحفاظ الطاقة ميكانيك - حرارة . فهو والحالة هذه متأثر بأهمية هذا المفهوم الجديد

العامة، ومفتون بالتحفاظ الطاقة عبر تجلياتها وتحولاتها المختلفة. لكن إذا كانت الطاقة هي مفهوم النظرية الفيزيائية المركزي وتتحفظ، فيوجد في الطبيعة شيء ما أساسي يتملص من الصيرورة. ويندرج قانون انحفاظ الطاقة، أكثر من قوانين الإنحفاظ الأخرى أيضاً، في منظور لزماني. ونستطيع في الواقع أن نشبت أنه مرتبط ارتباطاً حميماً بدواميه قوانين الميكانيك عبر انتقال في الزمان: فالطاقة تنحفظ إذا حافظت معادلة الحركة على الشكل نفسه في تغير ما يطرأ على الجملة الزمانية العلمية. فالطاقة هي الرمز الأجود لما يدوم ولا يتغير.

في مواجهة هذه الكلمة السحرية، أوجد كلوزيوس المقتنع بمبدأ كارنو الذي يظهر أن الطاقة، تنحفظ بالتأكيد، بل وتتحول أيضاً، وأن هذا التحول يتم في اتجاه متميز، أوجد عن عمد، في عام ١٨٦٥، كلمة «أنطروپيا». «وقد أعلن، إنني قد صغت هذه الكلمة أنطروپيا عن قصد بحيث تقترب قدر الإمكان من كلمة طاقة، لأن لهاتين الكميتين تماثلاً كبيراً في دلاليتهما الفيزيائية حتى بدا لي مفيداً إيجاد تماثل في التسمية». ويعني الجذر اليرناني للكلمة «تحويل»، لكنها ليست إلا إيجازاً، ويحتمل أن يكون الأفضل أن تترجم بتورية. وليس من باب القذف بذكرى كلوزيوس أن نعزو لكلمة أنطروپيا معنى ما يتغير فعلاً عندما يعود كل شيء من حيث الظاهر مماثلاً. ففي دورة آلة بخارية، كآلة التي تفحصها كارنو يقال أن الآلة قد أتمت دورة عندما يكون الحجم والضغط ودرجة حرارة البخار الذي تحتوي عليه أسطوانة الآلة، قد عادت إلى قيمتها الابتدائية. من حيث الظاهر كل شيء عاد من جديد فأصبح مماثلاً. مع ذلك، في أثناء الدورة، انتقلت حرارة من المنبع الساخن (الموقد) إلى المنبع البارد (المكثفة). وأنطروپيا المنظومة الإجمالية (الآلة ومنابعها) تزايدت.

مرة أخرى، يمكن أن يبدو تزايد الأنطروپيا. كما عرفها كلوزيوس^(١)، مثلاً، خاصاً للعكوسية، مقترنة بالتحولات الحرارية وحدها، في حين أن قانون انحفاظ

(١) $S \frac{dQ}{T}$ ، حيث dQ يقيس تبادلاً حرارياً ابتدائياً بين المنظومة والوسط الخارجي و T درجة الحرارة المطلقة التي يتم عندها التبادل، وبحسب التكامل من الحالة الابتدائية المتخلدة مرجعاً حتى الحالة المعبرة، على طول السيرورة المثالية العكوسية.

الطاقة عام". وهذا خطأ مع ذلك : وكما قد قيل ، تبدو جميع أمثلة اللاعكوسية الملاحظة ، على الأقل في الفيزياء العيانية ، على أنها مقترنة مباشرة بالتبادلات الحرارية . فلقانون كلوزيوس والحالة هذه درجة العمومية نفسها التي لقانون هيلمولتز ، والأهمية الإيبيستيمولوجية نفسها .

وقد نصَّ قانون تزايد الأنطروپيا في بداية الأمر في إطار المنظومات المعزولة المقيد ، بيد أنه عُمِّم منذئذ كقانون انتاج أنطروپيا موجب في كل عنصر موضعي لجملة ، سواء كانت هذه الجملة معزولة أم لا . مع ذلك ، بدا بسرعة على أنه قانون ذو نظام إيبيستيمولوجي أقل وضوحاً من نظام قانون انحفاظ الطاقة . «وهو ، على قول بيرغسون ، أكثر قوانين الفيزياء ميتافيزيقية» . وتقرن عروض التيرموديناميك الكلاسيكية قانون انحفاظ الطاقة (مبدأ أول) بقانون تزايد الأنطروپيا (قانون ثاني) ، لكنها تلح أيضاً على اختلافهما نظاماً . فالقانون الأول هو قانون الطبيعة ، هو أنطولوجيا تعلي في الواقع شأن الطاقة إلى رتبة جوهر ، بالمعنى الفلسفي لهذا التعبير . والقانون الثاني يشكل قانوناً ملاحظتياً في علم وصفي ، فهو مرتبط بالـ «شروط الحدية» الخاصة بكل مسألة مطروحة . فالقانون الثاني لا يمكن والحالة هذه أن يستتج من القانون الأول ، ولو أن لودفيك بولتزمان أستطاع أن يثق بذلك لبعض الوقت .

ففي الواقع ، كان بولتزمان ، في عام ١٨٧٠ ، يعتقد أنه قد أثبت أن الصدمات المرنة بين الجزيئات في داخل غاز كانت تسبب لا محالة انتقال حرارة من الأجزاء الساخنة إلى الأجزاء الباردة ، وبالتالي تطوراً غير عكوس كان يستطيع أن يربطه بمقدار ميكانيكي H لا يتغير ، كالأنطروي ، إلا في اتجاه واحد (النظرية H) . لكن ما لبث أن اتضح أن برهانه كان يعتمد في الواقع ، على فرضية ضمنية ، وأن صلاحيته ليست مؤكدة . وهذه الفرضية المدعوة فرضية «الفوضى الجزيئية» تقبل غياب علاقة متبادلة بين سرعة الجزيئات في حالة الكتلة الغازية الابتدائية ، مع أنها توجد ، بداهة ، في الحالة الإنتهائية بين الجزيئات التي دخلت في حالة تصادم . وتعود فرضية

الفوضى الجزئية والحالة هذه خلصة فتقبل منذ المنطلق هذه اللاعكوسية التي ننوي برهانها .

انطرويا، اضطراب، إعلام

أثارت نظرية بولتزمان الحيرة بين فزيائيي زمانه . كيف يكون ممكناً أن يكون تابع رتيب ، يتغير دائماً في الإتجاه نفسه ، في غضون الزمان ، متعلقاً بمنظومة ميكانيكية ، ما دامت قوانين الميكانيك التي تحكم تطوره لا تتضمن أي اتجاه تطوري متميز بالنسبة لأي من متغيرات المنظومة الديناميكية؟ كان لورد كالفن حسب الظاهر أول من شدد على حقيقة أن قوانين الميكانيك لا تمنع ، بخاصة ، أن نفرض أننا قد عكسنا في لحظة معينة سرع كل جزيئات الغاز الذي تؤكد النظرية «H» أنها تدرس تطوره . فقوانين الميكانيك تتضمن حينذاك أن يكون على حجم الغاز أن يعود فيمر تدريجياً بجميع الأوضاع التي كان قد شغلها سابقاً ، كما لو كنا نسقط بالمقلوب فيلماً عن التطور الأصلي لهذه العينة . إن كل توابع متغيرات المنظومة التي كانت تتناقص في التطور الأصلي يجب أن تتزايد ، والعكس بالعكس . ومن الممتنع والحالة هذه أن لا يستطيع التابع «H» أن يعرف غير تطور رتيب . إن هذا الاعتراض معلوم في هذه الأيام تحت اسم **مفارقة لوشميديت** . «ربما سوف يكون رد نصير لبولتزمان ، إذن ، لنمض في ذلك ، أتريدون أن تعكسوا سرعة كل جزيئات غاز؟ قوموا بذلك!» إن هذا التحدي الذي يشدد على الامتناع العملي لإعداد منظومات ربما تتناقص انطروبيتها تلقائياً ، يلخص تماماً روح الجواب الذي عرضه في بداءة الأمر بولتزمان . كلا ، لا تمنع قوانين الميكانيك أن تنقص انطروبية منظومة متروكة وشأنها . إلا أن منظومات كهذه لا توجد عادة في الطبيعة : فشروط المنظومات الواقعية البدئية هي بحيث أن انطروبيتها تزيد .

وفي **فترة ثانية** ، يتطور فكر بولتزمان ويتضح . طبعاً ، لا نستطيع أن نستنتج بكل دقة قانون تزايد الأنطروپيا ، بلا عكوسيته الزمانية ، من قوانين الميكانيك المطبق على الصدمات المرنة بين جزيئات غاز وحدها ، لأن هذه القوانين عكوسة . لكن

البرهان الذي تقدمه النظرية ليس برهاناً مطلقاً؛ فهو برهان على وجه الاحتمال .
وقانون تزايد الأنطروپيا هو حقيقة إحصائية . فإذا ما أحصينا شروط حجم غاز
المجهرية^(١) التي تقود إلى حالة تيرموديناميكية معينة ، فإننا نقتنع بسهولة بأن عدد
الشروط الموافقة للتوازن التيرموديناميكي ، ذي الأنطروپيا العظمى ، كبير جداً إزاء
العدد الموافق لأي حالة أخرى . في حضور منظومة حالتها الابتدائية لا توافق
التوازن التيرموديناميكي ، يكون احتمال أن تقترب من حالة التوازن في غضون
تطورها أكبر بشكل لا مثيل له من عكس ذلك . طبعاً ، من المحتمل إلى أقصى حد
أيضاً أن تكون هذه المنظومة تشغل ، في الماضي في النطاق الذي كانت توجد فيه
قبلاً ، حالة (وضعاً) قريبة من حالة التوازن . «تبدولي نظرية لوشخميدت أنها ذات
أهمية كبيرة لأنها تظهر كم هو المبدأ الثاني مرتبط بحساب الاحتمالات ارتباطاً
حميماً في حين أن المبدأ الأول مستقل عنه كلياً» ، الكلام لبولتزمان .

وفي عام ١٨٩٠ ، نشر پوانكاريه نظرية ميكانيكية تُعرف تحت اسم «نظرية
العودة» ، تعارض أيضاً النظرية H . وهي توضح أن منظومة ميكانيكية محدودة
توجد في حالة مُعطاة في اللحظة t سوف تعود في الغالب وإلى ما لا نهاية ، في
المستقبل ، فتمر بهذه الحالة أو حالة قريبة من هذه الحالة قدر ما نشاء . ومن المؤكد
والحالة هذه أن لا يكون باستطاعة انطروپيا المنظومة أن تزيد دائماً ، لأنه سوف يكون
عليها ذات يوم (وحتى في الغالب والي ما لا نهاية ، في المستقبل) أن تعود فتأخذ
قيمتها البدئية أو قيمة جدّ قريبة منها . وقد طور هذه الحاجة بخاصة ، تلميذ يلانك
الفيزيائي الشاب زيرمولو ، الذي استعملها في عام ١٨٩٥ في مذكرة موجهة ضد
النظرية H ، أو على الأقل مخصصة لأن تحد مدى أهميتها بشكل غريب .

لم يتأخر رد بولتزمان . فقد لاحظ بشيء من الخشونة «إن مذكرة زيرمولو تظهر

(١) اقترح بولتزمان ، من أجل القيام بهذا الإحصاء ، أن تقسم مجموعة القيم الممكنة لأوضاع وسرع
كل جزيء غازي إلى قطع ذات قد محدود ، وأن يُعدّ (يحسب) عدد الهياثات التي تعطي المظهر الإجمالي
نفسه لحجم الغاز (حجم ، وضغط ، وحرارة موضعية) .

أن أعمالي لم تفهم». «مع ذلك علي أن أسرّب بهذا الإصدار على أنه البرهان الأولي على أن بحوثي سوف تستطيع أن تكون مكافأة في ألمانيا ببعض الرعاية». بعد ذلك فصل من جديد تصوره الإحتمالي للأنطروبي. إن تناقص الأنطروپيا غير مستبعد، إنه وحسب جد بعيد الإحتمال، إذا ما اعتبرت ضخامة تعدد الحالات المجهرية، المميّزة على سبيل المثال لحجم غاز، التي تنسجم مع حالة توازنه التيرموديناميكي، على النقيض من ندرة الحالات المجهرية المنسجمة مع حالة معطاة مختلفة عن التوازن. إن الزمان الوسطي للعودة إلى الحالة البدئية (أو إلى حالة تحكيمياً مجاورة) متناسب مع الندرة النسبية للشروط المجهرية المقابلة، وبالتالي يكون بالأحرى أطول بمقدار ما تكون الحالة المعتبرة أكثر ابتعاداً عن حالة التوازن التيرموديناميكي. بالنسبة لمنظومات عيانية محسوسة، مثل جزيئة - غرامية^(١) من غاز كامل تؤخذ في شروط بعيدة عن حالة التوازن (تحتل مثلاً فرق حرارة كبير بين حجرتين متصلتين من خزان معزول حرارياً حيث هو مدفون)، فزمن العودة الوسطي هذا يتجاوز إلى حد كبير عمر الأرض المفترض. إن الإمكانية النظرية لمثل هذه العودة لا تحد النتيجة العملية، أي الرهان على ازدياد مستقبلي لأنطروبية المنظومة.

هذه هي إجمالاً البرهنة (المحاجة) التي فصلتها بولتزمان، تمهيداً لتفسير الأنطروپيا الإحتمالي، الأنطروپيا التي ينبغي عليها أن تقاسي المصير الذي نعرفه. ففي كثير من المسائل التي توجب تحليلاً مجهرياً، يكون تعريف الأنطروپيا الإحتمالي أسهل استعمالاً من تعريفها العياني. لكن هل يمكن أن تأتي الصدفة إلى فهم قوانين الطبيعة بعناصر، إن لم تكن غير صدفة جهل؟ من يستطيع أن يقبل حرفياً ملاحظة فاينمان الساخرة، فاينمان الذي كتب في محاضراته عن الفيزياء الابتدائية أن «لا عكوسية الظواهر الملاحظة فعلاً معزوة لعدد الجزيئات المعنية الكبير جداً. فلو كنا نستطيع أن نرى الجزيئات الفردية، فلن يكون باستطاعتنا أن نقرر في

(١) جزيئة - غرامية molecule gramme تحتوي عدد أفو غادرو (٢٣١٠×٦) جزيئاً واقعياً. وتشغل، في الشروط الطبيعية للحرارة والضغط، جزيئة غرامية من غاز كامل حجم ٢٢,٤ لتر، وتشكل والحالة هذه وحدة عيانية ملائمة.

أي اتجاه زمني تتطور المنظومة . . . لكن إذا كنا لا نرى كل التفاصيل ، فحينذاك هل يصبح الوضع واضحاً كل الوضوح؟ ألا ينبغي علينا بالأحرى أن نجاري بوانكاريه ، الذي يرى أنه ، إذا كانت الصدفة تستطيع أن تساعدنا على توقع سلوك المنظومات الفيزيائية المستقبلية ، فيجب أن «تكون شيئاً آخر غير الاسم الذي نسمي به جهلنا . . .»؟

لتفسير الأنطروپيا الإحتمالي ، من وجهة نظرنا ، حسنة كبرى وسيئة جد خطيرة . الحسنة هي أنه يشدد ، عند الحاجة ، على الطابع الجماعي ، العياني ، لهذا المفهوم ، الذي لا معنى له بالنسبة لجزء معزول (ما هي درجة حرارة جزي معزول؟) ، بل فقط بالنسبة لمنظومات ذات درجات حرية عددها كبير^(١) . والسيئة هي إعطاء الإنطباع بأن الأنطروپيا مفهوم يتعذر أن لا يكون ملطخاً بالذاتية ، مفهوم ينصب على علاقاتنا بالأشياء ، بدلاً من أن يكون كيفية أو مقداراً متعلقاً بالأشياء ذاتها .

أن يكون ممكناً أن تكون الأنطروپيا مفهوماً ذاتياً ، بالطبع هذه الفكرة تفرض نفسها ، ما دامت يُعبر عنها كتاباحتمالات . ففي نظرية بولتزمان كما في العروض الراهنة للميكانيك الإحصائي ، في الواقع ، يكون احتمال حالة مميزة بمتتالية معينة من قيم درجات حرية المنظومة مفترضاً قبلياً . ونعطي ، في التمثيل الأساسي للنظرية حيث ندخل مجموعات قانونية مجهرية ، بشكل تحكيمي وزناً مساوياً لكل شاكلة ممكنة في مكان الأطوار ، أو لكل متتالية تامة من الأعداد الكوانتية . على هذا الحال . يكون «احتمال» شاكلة عيانية للمنظومة مميزة بقيمة معطية لثابتات Paramètres كالبحجم والضغط ودرجة الحرارة ، متناسباً مع عدد الطرائق المختلفة لتحقيق مثل هذه الشاكلات من وجهة نظر متغيراتها المجهرية (موقع ، اتجاه وكبر سرعة كل جزيء غاز مثلاً) . إن قاعدة التساوي في الإحتمال قبلياً هذه بالنسبة لكل الشاكلات

(١) تملك منظومة مكونة من N جزيئاً مادياً مستقلاً $6n$ درجة حرية ، إذ يحتاج تمييز حالة المنظومة إلى تعيين قيمة ٣ مركبات للموقع و٣ مركبات لسرعة كل من الجزيئات .

المجهرية الممكنة للمنظومة ليس لها، على ما يبدو، من مبررات أخرى غير بساطتها وفعاليتها العملية.

نشهد، بدءاً من عمل بولتزمان حول تفسير الأنطروپيا الإحتمالي، انزلاقاً متدرجاً (في الواقع عدة تغيرات متتابة للنماذج، كل منها تميل إلى توطيد الطابع الذاتي لهذا الكيان) ومع أن هذا الانزلاق قد كان مستمراً في غضون النصف الأول من القرن العشرين، نستطيع أن نميز ثلاث مراحل أساسية، تقترن فيها الأنطروپيا بمفاهيم مختلفة: تلا الإحتمال مفهوم الإضطراب (اللانظام)، وأخيراً مفهوم الخسران الإعلامي.

من المؤكد أنه يوجد توازٍ بين تزايد أنطروپيا مكنظومة وفقدان النظام. فإذا كان حجم من الغاز موزعاً بين حوالتين متصلتين يحتوي، من جهة، على غاز بارد، ومن جهة أخرى، على غاز ساخن، فإن التطور التلقائي للمنظومة يقود إلى خليط درجة حرارته موحدة: الترتيب الأولي، الذي كان الغاز «الساخن» فيه مرتباً في جهة، والغاز «البارد» في الجهة الأخرى، زال. كذلك، تنتشر نقطة حليب مضافة إلى فنجان قهوة، ويصاحب هذا الإنتشار زيادة أنطروپيا؛ في الوقت نفسه تغير «الترتيب» الأولي، الحليب من جهة، والقهوة من جهة أخرى، إلى مزيج فاقد الإنتظام. ويعود التذكير بهذا التوازي بين أنطروپيا ولا إنتظام إلى كلوزيوس نفسه. إن بولتزمان يستدعي مفهوم اللانظام الجزيئي، ويعلق على فكرة «موت الكون الحراري»: شيئاً فشيئاً، يتحول في الكون (أو على الأقل في جزء هذا الكون الذي يحيط بنا، كما قال بولتزمان، ويخضع لقانون التيرموديناميك الثاني)، الساخن والبارد إلى فاتر، ويتحول النادر إلى مشترك، ويذوب اللامتجانس في المتجانس، ويتحول النظام إلى لا إنتظام. فالعالم والحالة هذه مقضى عليه بالتأحد تأحد (تماثل) غير منسجم مع ظهور بُنى مرتبة لفردانيات مثل الموجودات الحية. إن هذه النهاية القيامية الغربية، التي تصدم الإيديولوجيا الشعبية عن التقدم العلمي والتقدم الإجتماعي، شأنها شأن الفكرة الدينية الغائية تلقي الرعب في أذهان ذلك العهد وتوحي للمبسطين من الكتاب الأكثر شهرة في نهاية القرن التاسع عشر تعليقات يائسة، ظهر كتاب كاميل فلا ماريون عن نهاية العالم في عام ١٨٩٣.

يبدو مع ذلك أن فكرة مماثلة تامة بين انطروپيا ولا إنتظام حديثة العهد إلى حد كافٍ. وقد عززتونولات إلى إيروين شرو دنغر الذي يقترح فعلاً في كتابه What is life? (١٩٤٤)، أن يتخذ كقياس للانتظام عكس الاحتمال التيرموديناميكي، أو الانطروپيا بعد تغيير إرشارتها، لكن التوازن ليس التماثل، ومهما كانت مغرية، مماثلة الأنطروپيا بالانتظام، فإنها ليست مقبولة. إن مفهوم الانتظام، كما شدد على ذلك بخاصة پيتر لاندسبيرغ، هو مفهوم تكثيفي في حين أن الأنطروپيا هي مفهوم تمديدي (على مجموعة المنظومتين المتماثلتين أن يكون لها درجة الانتظام ذاتها التي لكل منهما إذا ما أخذت على انفراد، في حين أن أنطروپيا المنظومة الإجمالية تساوي ضعف أنطروپيا كل من المنظومتين الأوليتين). حتى أننا نستطيع أن نتصور، والتطوير الحديث العهد لفيزياء السيورورات الالاعكوسة برهن ذلك بإسهاب، حالات فيها تتزايد الأنطروپيا، مع أن تطور المنظومة يترافق مع ظهور نظام (ترتيب): تقدم البلورات في محلول زائد الإشباع مثلاً على ذلك.

إن المرحلة الثالثة للتطور نحو قانون للأنطروپيا ذاتي تنضد بشكل كبير على المرحلة السابقة من وجهة النظر التاريخية. وهي تتعلق بمماثلة مفهوم الأنطروپيا بمفهوم الخسران الإعلامي. وترجع فكرة وجود علاقة بين هذين المفهومين إلى ماكسويل. فقد تصور في عام ١٨٧٢ شيطاناً منجهرياً صغيراً، كان تدخله يتيح حسب رأيه نفي المبدأ الثاني. فهذا الشيطان، عندما يكون موضوعاً على مدخل ثقب الإتصال بين حوجلتين تحتويان على غاز ذي حرارة درجتها موحدة (منتظمة)، ينخب الجزئيات حسب سرعتها، مثلاً، لا يسمح إلا بمرور الجزئيات السريعة من الخزان الأيمن إلى الخزان الأيسر، والجزئيات البطيئة في الاتجاه المعاكس. على هذا الحال، يحدث اختلافاً في درجة الحرارة بين جزئي الخزان الذي كان أولاً في حالة توازن حراري، الأمر الذي يناقض مبدأ كارنو. وقد علق بولتزمان أيضاً على القرابة بين ازدياد الأنطروپيا ونقصان الإعلام. وفي أعوام ١٩٣٠، كان المنظر ريشارد تولمان والرياضي إيميل بوريل والفيزيائي ليُو سزيلارد، من بين أولئك الذين أولوا الإنتباه الأكبر للعلاقات بين المفهومين. لكن فقط في غداة الحرب العالمية

الثانية اقترح كلود شانون ممثلة المفهومين في مولفه المعنون The mathematical theory of communication. أخيراً، نص ليون بريوين، في عام ١٩٤٨، «مبدأ كارنو معمّم» يوضح أن ليس وحسب مقضي على أنطروپيا منظومة معزولة أن تزيد، بل أيضاً إن الأنطروپيا المصغرة (المنقصة) للإعلام المكتسب من المنظومة هي نفسها مقضي عليها بأن تزيد. إن وحدة الإعلام التي أدخلها يُعبر عنها على أنها $K \ln 2$ ، حيث K ثابت بولتزمان، و I الإعلام المعبر عنه بالـ «bits»، المقابلة للعدد الأصغري للإشارات الثنائية التي بها يمكن أن يُعبر عنه، وبحضور الثابت K ، يكون له بعد الأنطروپيا نفسه^(١).

بهذا الشكل نجد أن الأنطروپيا والإعلام يتعارضان ويتحاذقان واحدهما من الآخر. نستطيع أن نقنع بالفعل، من جهة، أن كل إعلام مكتسب في غضون قياس فيزيائي يكون معوضاً بإنتاج مصاحب لأنطروپيا كميته تساوي على الأقل كمية الإعلام المكتسب (ويقول بريون مقدرة كعملة باستهلاك كمية انتفاء أنطروپيا مساوية على الأقل)، ومن جهة أخرى، أن كل إعلام مكتسب من منظومة يكافيء إمكان إبلاغ هذه المنظومة حالة أكثر تنظيماً، ذات أنطروپيا أقل. في هذه الحالة، يكون خفض الأنطروپيا يساوي على الأكثر هذا الإعلام. مثلاً، يحتاج شيطان ماكسويل، من أجل نخب الجزيئات، أولاً أن يراها، أي أن يستعمل منبعاً ضوئياً درجة حرارته المميزة يجب أن تكون أعلى من درجة الحرارة في المحيط، بيد أن النور المنتشر على الجزيئات التي يضيئها ينتهي به الأمر بأن يفقد حرارة، وانخفاض درجة الحرارة هذا يسبب زيادة أنطروپيا. ونستطيع أن نثبت أن الاعلام الذي تم الحصول عليه من سرعة الجزيئات والنظام الذي أوجده نخبها يساويان على الأكثر انتفاء الأنطروپيا المستهلك. إن هذا الإمكان المزدوج لاستعمال انتفاء الأنطروپيا من أجل إيجاد الإعلام، وأن يعاد بعدئذ إيجاد انتفاء الأنطروپيا بواسطة هذا الإعلام (في حدود الصرف الأولي) عام تماماً.

(١) قانون بولتزمان $S = K \log W$ حيث S ترمز للأنطروپيا، K ثابت بولتزمان، وترمز W لعدد البنى (التركيبات). $\ln 2$ لغاريتم و \log لغاريتم.

إن ملكة الإنسان الخاصة في التأثير على المادة كي ينظمها هو موضوع خلاف هنا . ونحقق في الحياة الإعتيادية ما يتمه شيطان ماكسويل على السلم المجهري . وتتوقف فعالية إرادتنا بالتأكيد على الإعلام الذي نملكه مقدماً عن المادة التي يجب تنظيمها . ودرجة الانتظام أو إيجاد انتفاء الأنطروپيا الذي نستطيع الحصول عليه تكون دائماً أقل من كمية انتفاء الأنطروپيا الذي وجب صرفه من أجل الحصول على هذا الإعلام المقدم .

إن بريون يبدو بهذا الشكل أنه أقام تكافؤاً بين الأنطروپيا والإعلام . صحيح أننا باستذكارنا نصاً مكتوباً نستطيع بعدئذ أن نعيد إنتاجه ، حتى لو تلفت النسخة الأصلية . فاستطاعتنا التنظيمية تتيح لنا أن نوجد نظاماً ، حيث يسود اللانظام . ومبدأ بريون يعين مثل هذه الإستطاعة . في النهاية ، إن الإعلام هو وسيلة لحزن انتفاء الأنطروپيا الجاهز ، من أجل استعماله بعدئذ حسبما يوافقنا . إنه يتيح أن ننقص مؤقتاً لائحة تزايد الأنطروپيا ، لكن مع ذلك دون عكسها .

إعلام ، إرادة ، ذاكرة ، ملكة تنظيمية هل هي حتى من أجل هذا من طبيعة الأنطروپيا وپيا نفسها؟ أن نسلم بذلك يكفي أن نتخلى عن إعطاء قانون موضوعي لهذه الأنطروپيا يجب أن لا ننسى أن مماثلة الإعلام وانتفاء الأنطروپيا اعتمدت في منطلقها على تفسير ذاتي للإحتمالات ، على القرار الكيفي ظاهراً بإعطاء فرص متساوية لجميع الشاكلات المجهرية الممكنة لمنظومة ذات طاقة معينة . في الفيزياء ، تكون فعالية مثل هذه «الخصيلة» جد خافية : إنها تذكر ، بالنسبة لـ لو كانت دي نوي ، براعات الشعبذة التي كان يسحره بها المشعوذون أيام طفولته . «تعلمت ، بعد ذاك ، أن القبعة كانت ذات بطانة مزدوجة ، وأن الأرنب كان يوجد قبلاً في القبعة ، أو في مخبأ معد في الطاولة ، لكنني لم أفهم بعد «مهارة» القوانين الإحصائية . . . » . فالمماثلة بين انتفاء الأنطروپيا والإعلام تفتح فوق ذلك الباب لاستنتاجات صعب قبولها من وجهة نظرا ليرموديناميك الدقيقة : هل سوف تعزى أنطروپيا مختلفة للعبتي ورق خلط فيهما الورق في الشروط نفسها ، حسبما تكون إحدى اللعبتين تحتوي أو لا تحتوي على تعاقبات أوراق لعب مرموقة ، أو حسبما يكون اللاعب قد أخذ أو لم يأخذ علماً بهذه النتيجة؟ وليس والحالة هذه أمراً مبالغاً

فيه أن نقول أن مبدأ بريوتي، الذي يخلط الأنطروپيا والإعلام، يمضي إلى ما يتجاوز غرضه. وربما نستطيع والحالة هذه أن نعيد كتابة هذا المبدأ بطريقة أخرى، لا تجعل يظهر من الكميات غير كميات متجانسة.

$$\Delta S \geq \Delta S - \Delta \$ \geq 0$$

حيث \$ تمثل ببساطة كامن انتفاء الأنطروپيا «المادي» الذي يظهر في مكان ما من دماغ العامل المدبر إثر تعديلات كيميا فيزيائية لجزء من جملته العصبية المركزية، في الوقت الذي يعي فيه نتيجة قياس أو معلومة، وليس هذه المعلومة الذاتية نفسها، إذا فهم بأن \$ تأخذ قيمة قريبة من $K \log_2 I$ كما كان يريد ذلك بريوتين، لكن في شروط حدية لا تزال بحاجة إلى أن تحلل.

تزايد الأنطروپيا في الظواهر المألوفة هل له أصل كوني؟

برهنت أعمال بولتزمان الطليعية أن قانون تزايد الأنطروپيا قانون إحصائي، صالح حصراً من أجل المنظومات الكبيرة، أو الأفضل أيضاً من أجل مجموعات منظومات. فالمراد والحالة هذه تأسيس تفسير للأنطروپيا إحصائي وموضوعي معاً. ويبدو أن خطوة في هذا الاتجاه قد أتمها مؤخراً الفيزيائي الأميركي دافيد ليروز، الذي اقترح ربط خواص الأنطروپيا الإحصائية بخواص الفوضى الكوسمولوجية. وسوف نستطيع هذه الفكرة التي لا تزال غامضة، بلا شك، أن تتحدد بدقة في مستقبل قريب، كلما استطعنا أن نعرف بشكل أفضل الميكانيكيات الإجمالية لأصل تكون الكون وللتوسع الكوسمولوجي. وهي ليست مع ذلك فكرة جديدة: وبدائتها يمكن أن تكون مقرونة باسم إيميل بوريل، من ناحية النظرية الرياضية، وباسم أرتور إيدنغتون، من ناحية الكوسمولوجيا.

إنها تعتمد أول ما تعتمد على التحليل النقدي لتابع شيطان ماكسويل. فهذا الشيطان يستطيع، وهو ينخب جزئيات الغاز، أن يستفيد من اللاتجانسات الموضعية في سرع الجزيئات، وهي لاتجانسات غير ممكنة ملاحظتها على سلمنا. ما عدا ذلك، إنه يعمل على سلمه المجهرى تماماً كما نستطيع أن نفعل ذلك على سلمنا،

ونحن ننتخب مثلاً كرات تنس . ويبدو والحالة هذه تزايد الأنطروپيا في مثال الخليط بواسطة انتشار الغاز بين حوجلنين درجتا حرارتهما مختلفتان على أنه مسألة تغير في سلم الإعلام . لنعده بالطريقة نفسها ، إلى مثال تبدد نقطة حليب في القهوة . إجمالاً ، يوجد فعلاً ، على سلمنا ، ضياع إعلامي : ففي القهوة بالحليب لا نعود نستطيع التمييز بين مكوني المزيج . بيد أن عضوية ضئيلة قد تعيش في القهوة ربما تلاحظ انفصال نقطة الحليب إلى كريات ضئيلة ، وربما تتابع تمييز هذه الكريات عن القهوة المحيطة . وربما سوف يوجد دائماً إمكان القيام بفصل بين مكوني المزيج : وربما سوف يكون الحجم الكلي للكريات من جهة أخرى مساوياً بكل دقة حجم نقطة الحليب الأولية . فالمعلومة لم تتغير . ولا يحصل أن تتغير المعلومة الضرورية لوصف الملاحظة ، إلا عندما نكتفي بوصف تقريبي ، مؤسس على مفهوم ذاتي ظاهراً إجمالي . فالمعلومة والحالة هذه تتعلق بسلم ملائمة الوصف . طبعاً ، إن تغير السلم هذا هو أيضاً ، في ذاته ، ظاهرة صعب تحيلها بعبارات موضوعية : أين سوف يوضع الحد بين العالم العياني ، حيث المعلومة فيه سهلة المنال ، وحتى قابلة للإستعمال لغايات تنظيمية ، والعالم المجهري ، حيث المعلومة فيه ربما سوف تكون صعبة المنال ؟ عل يتعلق هذا الحد باستطاعة أجهزة البحث التي نتمتع بها ؟

إذا ما استعدنا عبارات بوريل ، فإن تزايد الأنطروپيا يترجم والحالة هذه ميلاً لدى الكون نحو حالة بنيتها تستدق أكثر فأكثر : «إن تطور الكون ربما يستطاع بهذا الشكل أن يكون متصوفاً على أنه ميل لانتاج حالة أكثر فأكثر تعقيداً وغير ممكن أن تكون مدركة ومستعملة إلا من قبل موجودات أكثر فأكثر ضالة» .

إن السيرة الوحيدة لايجاد أنطروپيا موضوعية فعلاً ، إذا ما وجدت ، سوف ينبغي والحالة هذه أن تكون مقترنة بغياب إعلامي تام ، وليس بتحويل الإعلام إلى سلم أصغر بالمثل ، إن السيرة الوحيدة لايجاد انتفاء أنطروپيا ربما يكون فعلاً موضوعياً قد ينبغي أن يكون مقترناً بظهور مطلق لكمية إعلام ، وليس بتغيير سلمه .

ربما يستطيع الكون أن يكون حقاً منيع الإعلام الموضوعي هذا . حسب رأي ليّزر، توجد فيه قيد العمل ميكانيكية انتاج موضوعي لانتفاء الأنطروپيا، بالذات من جراء التوسع الكوسمولوجي كما نفهمه الآن بواسطة النسبية العامة، إلا أن مثل هذا التأكيد غير صحيح إلا في إطار نموذج تحدد، يخضع للـ «مبدأ الكوسمولوجي القوي» . فحسب هذا المبدأ، ينتج توزيع المادة والطاقة في داخل الكون من محض صدفة ولا يظهر لا موضعاً ولا اتجاهات متميزاً . وليست الشذوذات الموضعية، كالمجرات والنجوم التي تكونها، على السلم الكوني، غير انحرافات (توجّات)، تعكس بلا شك الانحرافات الأساسية ذات الأصل الكوانتي التي حكمت ظهور المادة، في البدايات الأولى للحظات الـ Big Bang الأولى . ومن طبيعة هذه الانحرافات أنها تفلت من كل حتمية، والمادة التي تشكل اليوم الكون ربما تستطيع والحالة هذه أن تخضع لهذا المبدأ الإحصائي . أخيراً، النموذج يرتضي أن يكون الكون دون حدود . وبالفعل، حسب نظرية النسبية العامة، ربما يمكن أن يكون الكون ضمن بعض الشروط، أن يكون محدوداً لكن غير متناهٍ، بالمعنى الحقيقي لهذه العبارة . في هذه الحالة ربما سوف لن يوحد لا فصل بين جزء مأهول وجزء خاوٍ، ولا «مركز»، ولا أي موضع آخر مميز وإذا ما عدنا إلى الصورة المكرسة، فربما سوف سيكون كسطح كرة، وربما سوف نستطيع والحالة هذه أن نجوّه بلا نهاية، دون أن نصادف أبداً حداً .

في إطار هذا النموذج، لا يوجد والحالة هذه ترتيب موضوعي في الكون الإجمالي، ووصفه الموضوعي، حتى لو كان جزيئاً، يكون ممتنعاً . وربما سوف يكون مثلاً أمراً وهمياً أن تريد أن نصف موضوعياً موقع المنظومة الشمسية في الكون، إذ يوجد بالتأكيد في عشرات الآلاف في المجرات تعددية منظومات كوكبية تستجيب للوصف نفسه، مهما كان مفصلاً .

باختصار، نستبعد فرضية ليّزر إمكان إعلام أو نظام موضوعي في الكون على سلم الوصف هذا . وكل ظهور لنظام (ترتيب)، أو لانتفاء أنطروپيا، على

سلم أدنى يكون والحالة هذه بدعة (خلق). وخلق انتفاء أنطروپيا وحده على مسلم أدنى، إذا وجد، يمكن أن يكون مدعواً موضوعياً.

تتدخل مرحلتا توسع الكون في الميكانيكية المطروحة من خلق موضوعي لانتفاء أنطروپيا: ابتعاد المادة والضوء، والإنهداد الثقالي لغيوم مادية باردة. ويشرح الابتعاد الذي يرافق توسع المكان لماذا لم تعد درجة الحرارة المميزة لإشعاع قاع السماء، التي هي أثر أحفوري لكون مركز وساخن، في هذه الأيام غير $2,7\text{ K}$ (درجة حرارة مطلقة). بيد أن هذا الابتعاد يؤثر بشكل مختلف على الفوتونات، المجردة من الكتلة، والجزيئات المادية. فدرجة حرارة الفوتونات تنقص كنقصان R^{-1} ، حيث R ثابتة $harmetre$ مميزة يمكن أن تكون مدعوة نصف قطر الكون، في حين أن درجة حرارة الجزيئات تنقص كنقصان R^{-2} . على هذا الحال، هي إن منبع انتفاء أنطروپيا دائم قد خلق، والتدفق المقابل ينشأ بفضل سيرورات تزاوج المادة والإشعاع. من بين هذه السيرورات، الانهدادات الثقالية لجزيئات مادية باردة، مثيرة إعادة تسخين غيرم غازية وتكثيفها فتغدو نجومياً، تلعب دوراً مركزياً. إنها باتاحتها تشكل الشمس، منحت المحيط الحيوي والإنسانية انتفاء الأنطروپيا الذي تحتاج إليه من أجل البقاء «إن نضال الموجودات الحية العاتم من أجل الوجود ليس نضالاً من أجل المواد الأولية-أي، بالنسبة للعضويات، الهواء والماء، والتراب، وهي مواد كلها جاهزة بوفرة-ولا من أجل الطاقة التي توجد برفوة زائدة في أي جسم بشكل حرارة (ولو كانت مع الأسف غير قابلة للتحويل)»، هذا ما كان يكتبه قبلاً بولتزمان منذ أكثر من مئتي سنة، «بل نضالاً من أجل الأنطروپيا، التي لم تغد جاهزة إلا عبر انتقال الطاقة من الشمس الساخنة إلى الأرض الباردة.

وتبعاً للفرضيات المعروضة، بقي أن نفهم بشكل أدق الصلة بين ازدياد الأنطروپيا في الظواهر على أصغر سلم والسيرورة الكوسمية المؤسسة.

لنتذكر أولاً أن ظاهرة تزايد الأنطروپيا تتعلق بالجماعي. فذرة، حتى لو كانت مشعة، لا عمر لها: إنها تملك دائماً الإحتمال نفسه في أن توجد في الدقيقة

التالية . بالمقابل ، إن مجموعة ذارت مشعة ، عينه من المادة المشعة ، تتيح بناء ميقاتية تيرموديناميكية . وكلما زادت كتلة العينة ، كلما زادت دقة الميقاتية . فالمدة (الزمان) التيرموديناميكية ، تبدو والحالة هذه مبثوثة في المادة مع إمكان تحديد دقيق يتعلق بعدد العينة المدروسة . وقد اقترح دافيد بوهيم عبارة «ذو نظام مترع» من أجل الدلالة على مثل هذه الحالات ، التي يكون فيها نظام خارجي مبثوثاً في المادة . ويوحى من ذلك مماثلة : الترتيب الزماني ربما يكون مبثوثاً في المادة كالترتيب الهندسي لسطح شيء في صفيحة هولوغرام فوتوغرافية .

في هولوغرام ، نجد أن صورة التداخل ، المعقدة جداً ، والمكونة بواسطة حزمتي ليزر كانت إحداهما قد انفرجت على سطح الجسم ، تتعلق في كل نقطة بشكله الإجمالي . وهذا الترتيب الخارجي لا يظهر لدى فحص الصفيحة الفوتوغرافية في الإضاءة العادية ؛ وبالمقابل نجد أنه يكون قابلاً لأن يكون محسوساً مباشرة عندما ننظر إلى الهولوغرام بواسطة ليزر تواتر كتواتر الليزر الذي استعمل لرسمه عينه . حينذاك نرى الشكل الهندسي يظهر وحتى مجسم الجسم المصور فوتوغرافياً . ويجي أن نلاحظ أن تفاصيل هذا الشكل ودقة إعادة التجسيمات (النوافر تتعلق بقد جزء الهولوغرام المضاء بالليزر . وإذا ما قلصنا المنطقة المضاء ، فإن الجسم يظهر أيضاً بأكمله ، لكن بدقة أقل .

في الكون ، تكون البنية الخارجية هي المدة الكوسمولوجية ، المتجهة (السهم) التي يمنحها التوسع العام للزمان ؛ إن الحامل «الهولوغرافي» الذي يكون هذا الترتيب «منضداً» عليه هو المادة التي يحتوي عليها . فوق هذه المماثلة ، ربما تكون متجهة الزمان منعكسة ، ومبثوثة ، ومترجمة في المادة على سوية الظواهر العيانية من جانب قانون تزايد الأنطروپيا ، بدقة تكون بالأحرى أكبر كلما كانت المنظومة المعتبرة أكبر .

إن مقل هذا التحليل يوحي بوجود مزاوجة بين «المنظومات الصغيرة» والكون . وقد سبق أن ذكر بهذه المزاوجة إدينغتون الذي سبق أن كان يعبر في عام

١٩٣٥ عن فكرة مفادها تزايد الأنطروپيا في الظواهر على سلمنا ربما يمكن أن يكون مرتبطاً بالتوسع الكوسمولوجي . ولم تتضح ميكانيكية بعد ، بيد أن الخلاصة المحتملة هي أن يكون تزايد الأنطروپيا في المنظومات الواقعية يجري عادة على مرحلتين . أولاً مرحلة «ذاتية» ، فيها تكون مرتبطة بتغير سلم الإعلام الجاهز على المنظومة ، التي تنتقل بالتدريج من السلم العياني (نقطة حليب مثلاً) إلى السلم المجهرى (كريات) ؛ في هذه المرحلة ، ما سوف يكون مدركاً من قبل ملاحظ عديم المهارة على أنه تزايد أنطروپيا سوف يمكن أن يكون معتبراً على أنه سيرورة متساوية الأنطروپيا من قبل ملاحظ مجهز بأدوات أكثر دقة . وفي مرحلة ثانية ، ينحل الإعلام المجهرى ويزول ، عبر تشوشات المنظومة الضعيفة التي يحرصها باقي الكون . والخلاصة التي وفقها تكون الأنطروپيا قد زادت تصبح حينذاك عامة ومؤسسة موضوعياً .

ما قوام هذه التشوشات الضعيفة التي تزواج كل منظومة مع باقي الكون ؟ هل تلعب الثقالة هنا دوراً حاسماً ؟ سبق أن كان ذلك رأي بوريل ، الذي كان يدعو إلى ملاحظة أن تغير الكمون الثقالي الذي يسببه انتقال قدره سنتمتر لغرام مادي موضوع على مسافة كمسافة ميريوس ربما يشوه بشكل جذري ، في أقل من ميكروثانية ، الحالة الكهربية لحجم غازي في مختبر أرضي . في حالة النظرية الراهنة ، لا يزال الوقت مبكراً جداً من أجل البت في هذا الأمر .



هكذا ، ربما يمكن أن تتعلق صعوبة النقاش حول موضوعية تزايد الأنطروپيا فقط بواقع أننا قد أهملنا حتى الآن التمييز بين مرحلتين متتابعين ، إحداهما انطروپومورفولوجية والأخرى كوسمولوجية وموضوعية . والموضوعية النهائية لتزايد الأنطروپيا ربما تتعلق بزوال الإعلام النهائي من جراء خواص للكوسموس فوضوية بالمعنى الدقيق . ولسنا مع ذلك متأكدين من ذلك كلياً ، ونحن لا نزال نجهل

الكثير عن ميكانيكيات المزاوجة المسؤولة عن الزمان (الدوام) . إلا أننا على ما
يحتمل على أهبة توضيحات كبرى ، على أهبة أن نسرق سر الزمان هذا من
الطبيعة . والمفتاح الذي بحث عنه بولتزمان بلا جدوى خلال زمان جدّ طويل ، إلى
درجة أن يأسه أسهم في اكتسابه القاتل للنفس ، كان على ما يحتمل مخبأ جيداً فيما
وراء السحب . . في انزياح السدم نحو الأحمر ، الذي لم يكتشف إلا بعد مضي
عشرين سنة ، وفي الفوضى البدئية ، التي لا نعرفها بعد معرفة تامة .

* * *

الفصل الرابع عشر

بُنَى تَبْدِيدِيَّة، تفاعلات دورية

في غضون هذا القرن، طُورت التيرموديناميكا من أجل مقارنة دراسة السلوك الديناميكي للمنظومات خارج-حالة التوازن. وقد تم التمييز بين نظامين: المنظومات القريبة من حالة التوازن، عندما لا تكون الإقسارات التي تمنعها من بلوغ هذه الحالة جدَّ كبيرة، والأوضاع حيث، على العكس، تكون المنظومات مُبقاة بعيدة بعداً كافياً عن حالة التوازن حتى تظهر فيها لا-خطيات-بخاصة حلقات مفعول ارتجاعي.. وهذه الحالة الأخيرة مثيرة للاهتمام بشكل خاص، من حيث أن النظرية (التي طورها بخاصة بريغوجين ومدرسة بروكسل) تُظهر كيف أنه، حتى في التماس منظومات من أجل الاستدارة أو البقاء في الحالة الأقرب قدر الإمكان من حالة التوازن، تستطيع هذه المنظومات أن تكتسب وتُبقى على بُنى مرموقة. من أجل ذلك يكون أمراً أساسياً أن تتبادل تدفقاً أنطروبياً مع الخارج، وغالباً ما يكون من باب أولى جساماً كلما كانت درجة تنظيمها تضعها في حالة أكثر بعداً عن حالة توازنها. أمثلة بسيطة عن مثل هذه المنظومات-تدعى منظومات مبددة-قد درست على المستويات سواء النظرية منها والتجريبية، خاصة في الكيمياء. وتظهر فيها انتظامات مكانية (مواضيع مرتبة) أو تراجمات زمانية (دارات) في معظم الأحيان. وتوفر هذه المنظومات نموذجاً من أجل فهم كيف أن المنظومات اللا-خطية صراحة، في الوقت الذي تخضع فيه لقوانين الالكترموديناميكا-بخاصة لقانون تزايد الأنطروبيا-تستطيع على غرار العضويات الحية أن تنبني وأن تبقى في الحالة نفسها.

تتمية تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة

نمى كلوزيوس وبولتزمان وجيبس ونظروا تيرموديناميكا تصف بخاصة حالة التوازن التي تتناهى إليها كل المنظومات الفيزيائية. ولأجل توسيع النظرية لتشمل وصف المنظومات عند تأملها في حالة تختلف عن حالة التوازن، اقترح جيل التيرموديناميين التالي (كوستانتان كاراتيودوري وبيير دوهم وتيوفيل دي دوندير وكورس أونساجير وأليا بريغوجين) أولاً تعميم قانون كلوزيوس - كارنو الذي يعبر عن حتمية تزايد الأنطروپيا في منظومات معزولة. من أجل ذلك، ميزوا بين إسهامين في لائحة الأنطروپي للمنظومات غير المعزولة: الأنطروپيا الناشئة داخل المنظومة وتدفق الأنطروپيا عبر غلاف المنظومة (من هذه المنظومة نحو الخارج أو العكس). وحسب حدس كلوزيوس، تكون السيرورات اللاعكوسة مميزة بمنبع موضعي موجب للأنطروپيا، في حين تكون السيرورات اللاعكوسة مميزة بمنبع موضعي معدوم. ويكتب قانون كلوزيوس - كارنو المعمم والحالة هذه في صيغة $ds = ds_{int} + ds_{ext}$ حيث تمثل $ds_{int} \geq 0$ المنبع اللموضعي، و ds_{ext} التدفق الخارجي.

بالنسبة للمنظومات المعزولة، يكون هذا المبدأ الجديد مكافئاً للمبدأ القديم، لأن حد التدفق، نحو أو من الخارج، يكون حينذاك معدوماً، بحيث تؤول المعادلة السابقة إلى: $ds \geq 0$.

أضف إلى ذلك، أن تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة تستند إلى الفرضية التي يقال لها «فرضية التوازن الموضعي»، التي وفقها يمكن أن تكون كل منظومة خارج حالة التوازن مقسمة إلى منظومات جزئية بدائية، بحيث تستطيع كل واحدة منها أن تكون مؤقتاً معتبرة على أنها في حالة توازن. ونستطيع حينذاك أن نطبق على سوية هذه المنظومات الجزئية قوانين التيرموديناميكا الكلاسيكية. ونستطيع بفضل هذه الفرضية أن نحسب قيمة التوابع التيرموديناميكية (بخاصة الأنطروپيا) للمنظومة بأكملها، حتى لو لم تكن هذه المنظومة بشكل واضح في حالة

توازن . وفرضية التوازن الموضوعي هذه ليست مع ذلك صالحة من أجل وصف الظواهر الأكثر عنفاً، كتلك التي تتضمن تشكل وانتشار أمواج اصطدامية، الخ . : غير أنها تقدم خدمات كبرى من أجل وصف الحالات المألوفة للا-توازن .

في فترة أولى ، طورت النظرية وطبقت على الحالات المستقرة القريبة من حالة التوازن . ففي هذه الحالة تأخذ الأنطروپيا القيمة الكبيرة إلى أعظم حد ممكن وتظل ثابتة في غضون الزمان ، بحيث أن نسبة إنتاج الأنطروپيا تكون معدومة . ويُرهن أن المنظومات التي بالنسبة لها تحول الإقسارات المفروضة دون توطد حالة الإستقرار ، لكنها تستطيع مع ذلك الإقتراب منها بما يكفي ، ذات نسبة إنتاج أنطروپيا تأخذ القيمة الصغرى المنسجمة مع هذه الإقسارات . وهذه هي نظرية إنتاج الأنطروپيا الصغرى (پريغوجين ، دانهاي) . ومجال صلاحية تيرموديناميكا السيورورات اللاعكوسة المعرفة على هذا النحو هو مجال «التيرموديناميكا الخطية» .

مع ذلك ، ما دامت المنظومة تظل في حالة تختلف عن حالة التوازن ، فلا يكون إنتاج الأنطروپيا أبداً معدوماً . وحالة مستقرة ، خارج حالة التوازن ، تعرف والحالة هذه نشاطاً داخلياً فيزيائياً - كيمائياً منتجاً أنطروپيا . وبما أن تابع الحالة «أنطروپيا» يظل ثابتاً ، وفقاً لفكرة الحالة المستقرة ذاتها ، فيجب بالضرورة أن نحصل ، برجعنا إلى قانون كلوزيوس - بكارنو المعمم (مع كون $\frac{ds}{dt} = 0$ ، لكن $\frac{dis}{dt} > 0$) على $\frac{des}{dt} < 0$: ويلزم تدفق أنطروپيا موجهاً نحو خارج المنظومة بتعبير آخر ، لا يمكن أن تُبلغ مثل هذه الحالات المستقرة بمنظومات معزولة ؛ فهي تميز على العكس بالضرورة منظومات مفتوحة على الخارج ، تصب فيه أنطروپيا أو ، والأمريسيان ، تستهلك «انتقاء أنطروپيا» موجوداً في بيئتها . وهذه الملاحظة توضح بخاصة الملاحظات البيولوجية الأكثر عادية : كل منظومة بيولوجية معقدة ، خارج التوازن ، مقضي عليها بالانحطاط وبالموت إذا ما عزلناها .

إن الحالات المستقرة القريبة من حالة التوازن تكون حالات وطيدة ، إذ أن كل فارق لمتغير يميز حالة المنظومة يقودها إلى حالة يكون بالنسبة لها إنتاج الأنطروپيا

أكبر، والمنظومة تميل تلقائياً إلى تبني الحالة المقترنة بانتاج أصغري للأنطروپيا . بهذا الشكل لا يعدل أي تشويش، يحدث مؤقتاً في حالة مستقرة، حالتها إلا بشكل انتقالي : فمنذ أن يكون التشويش قد توقف، تستعيد المنظومة النظام الذي كان لها آنفاً. في الواقع، نستطيع أن نعتبر أن المنظومة تظل، في مجال التيرموديناميكا الخطية كله، في قطاع جذب حالة التوازن وتميل إلى أن تقترب منه أكثر ما يمكن الإقتراب . وإذا ما تراخت الإقسارات المفروضة على المنظومة والتي تمنعها من بلوغ حالة التوازن، فإن المنظومة تتطور تلقائياً وحتماً نحو حالة التوازن .

بيد أن تيرموديناميكا حالات التوازن، والتي حد كبير، تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة الخطية، لا تتوصلان إلى أن تأخذ بالحسبان بعض الملاحظات الأولية . وفي النهاية تركا دائماً الفيزيائيين وفلاسفة العلوم غير راضين . إذ في الواقع، لا نتوصل إلى أن نفهم في عالم يهمن عليه مفهوم حالة التوازن، المتميزة هي نفسها بأنطروپيا ولا ترتيب أعظمي، كيف أمكن أن تحصل «فضيحة الحياة» .

إن مسألة الحياة توجد بالتأكيد في خلفية الاهتمامات التي يعلنها التيرمودينا ميكون . وهذا لا يحول دون وجود ملاحظات أولية، تنتمي بلا شك إلى مجال العالم اللاحق، سبق أن غدت تتوافق توافقاً سيئاً مع التيرموديناميكا التي تم تطويرها حتى الآن : فالتظاهرات التلقائية من مرتبة مكانية أو زمانية تصدم فكرة عالم منجذب بالمتجانس واللاترتيب، وتعين حدود التيرموديناميكا الخطية .

بعض أمثلة تفاعلات كيمائية لاخطية

عندما يكون لدينا نقطة زئبق على قاع منبسط لزجاجة ماء كمونه الهيدروجيني PH كان باديء ذي بدء قد أوصل إلى ٧، ينتج انطلاق أوكسين بإيقاع محدد، في حين تبدو النقطة بالتناوب تنتفخ وتقلص! الأمر الذي أكسب هذه التجربة اسم «قلب برودينغ» (برودينغ وواينماير، ١٩٠٣). وقد لاحظ تفاعلاً آخر دورياً براى في عام ١٩١٧؛ والمقصود هو تحلل الماء المهدرج بحضور يودات

الپوتاسيوم وحمض الكبريت . فالتفاعل موقع بواسطة تغير منتظم في تركيز اليود وانطلاق الأكسجين .

إن أمثلة أخرى تعود، لا إلى نشاط إيقاعي، بل إلى بنىوية مكانية . وعندما نرسب نقطة من محلول نترات الفضة على طبقة جيلاتين مشربة بمادة بينترات الپوتاسيوم، نرى حلقات متحدة المركز رائعة من راسب الفضة تظهر، مشكلة شكلاً لا يمكن إلا أن يذكرنا بحلقات نيوتن في علم الضوء، لكننا لا نتظره بالنسبة لتفاعل كيماوي بين أجسام متجانسة تحكمها قوانين التيرموديناميكا الخطية . هذه الملاحظة كانت قد سجلها على ما يبدو للمرة الأولى ليسروغانغ، منذ عام ١٨٩٦ . مثال آخر من بين أمثلة أخرى كثيرة وفره تفاعل زابوتنسكي (١٩٦٤) . يتركز على أكسدة الحمض المالنونيكي بواسطة برومات البوتاسيوم بحضور شوارد Ce^{3+} و Ce^{4+} . وهذا التفاعل يسبب بنىوية مكانية في أنبوب التجريب حيث أجري : نرى في الأنبوب وعلى طول ارتفاعه طبقات بالتناوب مظلمة ومضيئة تظهر .

إن مثل هذه المنظومات لاتناقض بالضرورة قانون تزايد الأنطروپيا، بادیء بدء، كما قد سبق أن أشرنا، لا يوجد تكافؤ مطلق بين الأنطروپيا واللاترتيب . بناء على ذلك، إن ظهور ترتيب مكاني يمكن أن يترافق مع زيادة أنطروپيا في المنظومة، كما هي الحالة بالنسبة لظهور بلورات في محلول مشبع إشباعاً زائداً . لكن، دون أن نستعيد ذكر هذا التمييز، ليس ضرورياً أن تكون المنظومات المذكور بها مقراً لانتاج أنطروپيا سلبي، إذ أن هذه المنظومات ليست معزولة : ويمكن والحالة هذه أن نستفيد من تدفق أنطروپيا من مصدر خارجي . وهذا التدفق يمكن حتى أن يكون أعلى من التدفق الذي ربما يكون بدقة لا غنى عنه من أجل الإبقاء عليها في حالة مستقرة ومتجانسة . مثال، إن منظومة تتذبذب في الزمان يجب أن تكون ذات أنطروپيا كلية على التوالي متزايدة ومتناقصة، على اتفاق مظاهر الظاهرة . بناء على ذلك، إن هذه المنظومات لا تخضع بالتأكيد لقانون انتاج الأنطروپيا الأصغري الذي وفقه ربما يكون على تدفق الأنطروپيا الخارجي أن يكون ثابتاً . وهي لاتقع والحالة هذه في مجال تطبيق التيرموديناميكا الخطية .

إن بريغوجين حقق هذا الإنتاج بتطويره، على المستويين النظري والتجريبي، التيرموديناميكا اللاخطية للسيرورات اللاعكوسة. عندما تكون «القوى» التي تُبقي منظومة في حالة خارج التوازن ما عادت متناسبة مع «التدفقات» المشاركة التي تميل، في التيرموديناميكا الخطية، إلى تقليل إنتاج الانطروپيا، فإن حالة التوازن تكف عن أن تكون الجاذب الوحيد المستقر أو المستقر التالي -metastable الذي يمكن أن تبلغه المنظومة، إن كثيراً من هذه الحالات الجاذبة تظهر درجة رفيعة من التنظيم المكاني و/ أو جرياناً محدداً بإيقاعات جلية. وحالات كهذه تكون متواترة عندما تجري عدة تفاعلات كيماوية معاً داخل منظومة بعينها، بتلقيها بعضها من البعض الآخر كواشفها.

التفاعلات الكيماوية المزاوجة تستطيع توليد حلقات

صاغت مدرسة بروكسل نظرية سلوك منظومة مفتوحة ومعقدة دعاها بريغوجين «Brusselateur» وهي عبارة عن سلسلة خاصة من ٤ تفاعلات كيماوية مزاوجة. ويمكن إثبات أن جملة المعادلات التي تحكم السلوك الحركي لمثل هذه المنظومة تتوقع، في بعض الشروط، تغيراً دورياً في تركيز بعض النواتج المتوسطة.

وقد صنع، في فرنسا في عام ١٩٧٥، أدولف باكولت وفريقه ميقاتية كيماوية حقيقية، ذات ميناء يدير عقاربها تفاعل كيماوي دوري جيد الاستقرار بوجه خاص. إن مثل هذه الميقاتية توضح من جديد فكرة أن قياسات الزمان يمكن أن تعتمد على صنفين متغايرين من الظواهر الفيزيائية: الظواهر التي تتعلق بالميكانيكا أو بمبدأ الفعل الأصغري من جهة، وتلك التي تتعلق بالتيرموديناميكا من الجهة الأخرى.

وقد درست منذئذ أمثلة عديدة أخرى عن تفاعلات نائسة (متذبذبة) تم الحصول عليها في تفاعلات كيماوية مزاوجة، سواء على المستوى النظري أو المستوى التجريبي.



باختصار ، إن النظم المستقرة أو المستقرة الكاذبة التي تبلغها منظومات تيرموديناميكية خارج حالة التوازن هي بصورة عامة حالات الحد الأدنى الموضعي لانتاج الأنطروپيا . إن تغيرات الإقسارات الخارجية الإنتقالية والانحرافات الداخلية التي تؤثر على المنظومة ، إذا لم تتجاوز قيمة حرجة معينة ، يُقضى عليها بلا قيد ولا شرط دون تعديل الحالة الإجمالية للمنظومة . وإذا ما تجاوزت هذه التغيرات قيمة حرجة (قيمة عتبة تتعلق بالحالة المعتبرة) ، فإن المنظومة يمكن أن تترك الحالة المستقرة ولا تعود إليها . وتستطيع حينذاك عدة حالات مستقرة جاذبة أن توجد ، من أجل القيمة عينها للإقسارات الخارجية ، ويمكن حينذاك أن تتوقف الحالة الخاصة التي سوف تنتهي إليها فعلاً على الانحرافات الداخلية التجريبية غير الممكنة مراقبتها .

أُتاحَت التيرموديناميكا اللاخطية للسيرورات اللاعكوسة فهم شروط ظهور «بُني تبديدية» . وفي حالة التفاعلات الكيماوية ، المقصود هو منظومات تفاعلات كيماوية مزاجية ، تطرأ في منظومات مفتوحة ، وتمتلك مفاعيل تحفيزية أو تحفيزية اختبارية Cross - Catalytiques . هذه المفاعيل التحفيزية مسؤولة عن اللاخطيات بين «قوى» و «تدفقات» ، بين «ألفات» و «سرع تفاعلية» . يلاحظ أن الآليات الإستقلالية للموجودات الحية تكون من هذا النمط بشكل جد مألوف . وقد كتب بريغوجين حول هذا الموضوع : «هذا الطابع التحفيزي للتفاعلات الكيماوية الضرورية من أجل الإفضاء إلى عدم استقرار يكون بخاصة مثيراً للإهتمام عندما نفكر في التفاعلات الكيماوية الرئيسية (كحلقة تحليل السكر) . فكل هذه الحلقات يُبقَى عليها بفضل شبكة تنظيمات جدّ معقدة ؛ فكل المراحل الحاسمة منظمة بميكانيكيات (آليات) تفعيل ، أو تثبيط ، أو حتى الإثنين معاً» .

«ويتابع ، إن النتيجة الأعم التي يمكن استخلاصها من هذه الدراسات ، هي أنه ، في حين يكون في حوار التوازن اختلال النظام والعطالة هما المعيار ، ففيما يتجاوز عتبة اللاإستقرار يكون المعيار هو التنظيم الذاتي ، الظهور التلقائي لنشاط (فاعلية) متمايز في الزمان وفي المكان ، إن أشكال هذا التنظيم المبدد جدّ مختلفة .

فبعض المنظومات تكتسب بطريقة تلقائية عدم تجانس مكاني ، وأخرى تتبنى إيقاعاً زمانياً دورياً ، تكون ميقاتيات كيماوية حقيقية ؛ وأخرى أيضاً تقرر بين بنىويات مكانية وزمانية . والبعض أخيراً تكتسب حدوداً طبيعية حقيقية ، أبعاداً معينة بثابتات parameters تميز نشاط المنظومة .

إن مجال البنى التبديدية فتح الطريق لفهم ظواهر فيها يوجد ظهور بُنى تلقائي . إنه يشكل برهاناً جديداً على ضرورة إعادة إدخال البعد التاريخي في وصف ظواهر مادية . إذ أن التعددية الممكنة للحالات المستقرة أو المتذبذبة التي يمكن أن تبلغها منظومة معلومة ، في شروط قسرية معلومة ، وحتى واقع أن هذه الحالات تمتلك كل منها قطاع استقرار مختلف ، يدخلان ظواهر تخلفية (hysteresis) مميزة : ولا يتعلق سلوك المنظومة بالنسبة لقيمة معلومة للإقسارات الخارجية وحسب بالشروط الخارجية بل أيضاً بتاريخها الخاص . ومثل هذه السلوك ربما قد لا يستطاع أن يكون ملاحظاً في المجال الخطي للتيرموديناميكا .

علينا الآن أن نترك الظواهر الفارقة الحياة من أجل السعي لتوسيع المعارف الجديدة المكتسبة في مجال الحياة . رغم الفوارق الهائلة التعقيدية ، تذكر بعض أمثلة التنظيم الخلوي بشكل لا مناص منه بشروط ظهور بُنى تبديدية .

* * *

الفصل الخامس عشر

من زمان الأشياء إلى زمان الحياة:

قفزة تعقيدية

إن أمثلة المنظومات التبديدية، التي اقتبسناها من مجال الكيمياء تتضمن بعض التفاعلات المتسلسلة، بحيث تؤثر النواتج التفاعلية لبعض المراحل على جريان مراحل أخرى. وتوحي الحلقات الزمانية المولدة بهذه النماذج البسيطة بمماثلة مع العالم الحي، الذي تلعب الحلقات (الدورات) من كل طبيعة فيه دوراً كبيراً. ألا يمكن أن يُشرح، سلوك إيقاعي للمادة الحية، مثلاً في ظواهر تحلل السكر، في التنفس، أو أيضاً في التركيب الضوئي، بقوانين التيرموديناميكا للسيرورات اللاعكوسة، مطبقة على المنظومات المفتوحة التي هي العضويات الحية؟ إن بريغوجين يعتقد ذلك، وقد سبق له أن كان يكتب ذلك في عام ١٩٤٦. ففي رأيه، خلافاً لحؤولها دون ذلك، تستطيع قوانين التيرموديناميكا أن تفسر بعض المنظومات الكيماوية على تصرفات عظيمة التنظيم.

يجب أن لا نهمل مع ذلك قفزة التعقيد الهائلة التي يمثلها الانتقال من بعض النماذج الكيماوية المعلومة، التي تتضمن إثني عشرية من المركبات المختلفة، مع أن عمل أصفر بكتيريا يشرك معاً آلاف المركبات في بنية عظيمة التنظيم. ونستطيع أن نفكر بأن هذه المسافة بين بساطة منظومة اصطناعية وتعقيد منظومة حية لا يغطي وحسب اختلافاً سلمياً، بل وطبيعياً أيضاً، باتاحته بروزاً لهذه الميزة الخاصة للحي التي ندعوها الـ «تنظيم الذاتي».

التعقيد الكيماوية للمنظومات الحية:

مثال لتحلل السكر

من أجل التمكن من تصنيف ظواهر الحياة في عداد البنى التبديدية، يجب أولاً التحقق من أن هذه تخضع لثلاثة شروطٍ تفرضها قوانين التيرموديناميكا. في المقام الأول، على المنظومات الحية أن تتمكن من أن تتحلل إلى عدد كبير من الوحدات البسيطة، خاضعة لقوى تفاعل متبادل أن تكون قصيرة المدى، على غرار غاز بولتزمان. ثانياً، على هذه المنظومات أن تكون من نموذج «مفتوح»، أي قابلة لتبادل طاقة ومادة مع محيطها. أخيراً، يجب أن تكون هذه المنظومات مُبْقاة، بفعل إقसार خارجي قوي، في حالة لاتوازن، وأن تكون بعيدة بعداً كافياً عن التوازن حتى تفلت من مجال التيرموديناميكا الخطية. من أجل ذلك، يجب أن يكون تطورها منظماً بسلسلة متعاقبة من التفاعلات المتبادلة التي تبدي حلقات ارتجاعية، وعلى كل حال، بلا خطيّات، كما في حالة التفاعلات الكيماوية التي سبق التنويه بها.

وهذه الشروط تكون بصورة عامة مستوفاة في المنظومات الحية. لننعم النظر في باكتريا، التي هي موجود مكون من خلية وحيدة. وهي تؤوي في هيولائها آلافاً من جزيئات البروتينات المختلفة، ذات شكل، وتركيب متنوعين، قابلين للتأثير المتبادل في اصطدامهما المتبادل. إن الخلية هي منظومة مفتوحة، بفضل نفوذية غشائها. زد على ذلك، أن بعضاً من هذه العضيات (متقدرات، صانعات خضراء) متخصصة في تبادل الطاقة مع الخارج، كالتنفس أو التقاط الطاقة الشمسية. وهذه التبادلات الطاقية والمادية تبقي على الخلية في حالة تتميز بلا تجانس بنيوي كبير جداً، جدّ بعيد عن التوازن التيرموديناميكي. أخيراً، إن الممارسة العادية للوظائف الحيوية في هذه الخلية تشرك سلاسل تفاعلات معقدة، حيث المراحل الإرتجاعية، مع تحفيز ذاتي أو تحفيز متصالب، تكون متواترة. وتلعب الأنزيمات، التي هي بروتينات تركيبية في داخل الخلية نفسه بفضل صناعة التركيب المُقَاد بالADN،

في هذه التفاعلات دور الحفازات، إن وظيفتها الفاعلة ترتبط بصورة عامة بشكل جزيئها المتعرج جداً، الذي يبدي في مكان الأعشاش أو الفخاخ المقولبة تقريباً بعض الأجزاء من كذا أو كذا جزيئات مقدرة لأن تتفاعل، الأمر الذي يسهل لقاءها. وتحتوي البنية الخلوية أيضاً أغشية عديدة نصف نفوذه، تحدد الحياطات والآليات الداخلية لمختلف العضيات وكذلك الضفيرة الشبكية أو الهيكل الداخلي. وتبقى هذه الأغشية من جهة أخرى على بعض الإقسارات داخل الخلية؛ إنها تمنع الإمتزاجات غير الموافقة وتسهم في الإبقاء على الخلية في حالة من عدم التوازن.

ولدي قبولنا بأن العضويات الحية كانت تفي بشرط تطبيق التيرموديناميكا للسيرورات اللاعكوسة، نستطيع أن نطرح سؤالين: هل إن هذه النظرية تستطيع أن تأخذ بالحسبان تنظيم البنى المكانية والزمانية الحيوية والإبقاء عليها، الضروريان لوظائف المنظومات الحية الخاصة؟ هل تستطيع أن تؤمن لنا دلالات عن ظهور الحياة، عن الإنتقال من انعدام الحياة إلى الحياة؟

لنوضح السؤال الأول بمثال، مختار لأهميته في الوسط الحيوي: مثال حلقة تحلل السكر، أي مجموعة التفاعلات التي بها تستعمل الخلايا الحيوانية احتياطاتها من الغليكوجين من أجل صنع الأدينوزين الثلاثي الفوسفات («وقودها» الطاقوي المباشر). فتحلل السكر ليس سوى نموذج مثالي من بين الوظائف الحيوية وميكانيكياته نسبياً معلومة جيداً، خلافاً لوظائف حيوية أخرى مثل التركيب الضوئي الكلورفيلي، تدخر مراحل أخرى لا تزال ناقصة الوضوح.

إن انحطاط (تدرُّك) الغلوكوز من أجل صنع جزيئات أدينوزين - ثلاثية الفوسفات (ATP) - جزيئاً ATP من كل جزيء غلوكوز، انطلاقاً من جزيئي أدينوزين ثنائي الفوسفات أو AOP - هو أحد الطرق التي تستعين بها العضويات الحية على تأمين حاجاتها الطاقية. والمراحل الرئيسية لتركيب الـ ATP هذا معلومة منذ بداية القرن. لكن لم يحصل إلا في عام ١٩٥٧ أن وضح ديورنيس وأميسنر التذبذبات (النوسانات التي ترافق عادة هذا التركيب (الإصطناع)). وكان هيغينز في

أن حصل التركيب والخزن وانحطاط (تدرُّك) الغليكوجين إلى غليكوز، في حين يستطيع في الأسفل الحمض اللبني والإيتانول أن يكبدا انحطاطات لاحقة، في وسط حيوي هوائي.

يكون الغلوكوز أولاً فوسفوريلي (بفعل الـ ATP) وبعدئذ محولاً إلى سكر فاكهة فوسفوريلي. ويتلقى سكر الفاكهة الفوسفور يلي هذا ذرة فوسفور ثانية، يعطيها من جديد جزيء ATP، في غضون تفاعل محفَّز بأنزيم ذي أهمية هنا بخاصة، هو الفوسفوفروكتوكيناز (PEK). ويكون ناتج التفاعل، سكر فاكهة ثنائي الفوسفات (FDi P)، حينئذ منقسماً إلى تريوزينين (كل منهما يمتلك ٣ كاربون، بدلاً من ٦ للغلوكوز ولل فروكتوز (سكر الفاكهة، D - glyceraedehyde - pho - hate (GAP) و (Di HAP) di - hydroxy - aceton - phssphete. وهذان المركبان يتحولان بالتبادل أحدهما إلى الآخر، بفعل أنزيم آخر، الفوسفوتريريوزايزوميراز (PTI). ويكون الـ (Di HAP) متأكسداً حينذاك بالـ NAD (نيكوتيناميد - أدنين - ثنائي النوويد) بحضور حمض الفوسفوريك وتحت تأثير الفعل التحفيزي لأنزيم نوعي، الفوسفو - غليسيرالديهيد ديهيدروجيناز (PGADH)، بحيث تكون التريوزا في النهاية متحولة إلى حمض غليسيرين ثنائي الفوسفات (GDiP)، في حين أن الـ NAD يكون مُرجعاً إلى NA DH. وتكون جزيئات GDiP نفسها بعدئذ متحولة، بتأثير فعل ADP الصادر عن التفاعل المحفَّز بالفوسفوفروكتوكيناز وبحضور الأنزيم الفوسفو غليسيرات كيناز (PGK)، إلى حمض غليسير - فوسفات (GP)، في حين أن جزيئات الـ ATP الأصلية تكون متجددة. على هذا الحال، ترجع، في غضون هذه الحلقة (المثلة بالدائرة التي في الأعلى وإلى اليسار من الشكل، ذرة الفوسفور الثانية، المرتبطة بكل تريوز، إلى الـ ATP وتكون التريوزات متحولة إلى أحاديات فوسفات. بعد تحول إضافي، يكون الحمض الفوسفو - غليسيرين متحولاً إلى فوسفو إينول بيروقات (PEP). وفي غضون التفاعل التالي، المحفَّز بالأنزيم بيروقات كيناز (PK)، يتخلى الفوسفو إينول بيروقات عن فوسفوره الباقي إلى جزيء ADP، محولاً إياه إلى ATP، في حين أنه هو نفسه ينجب بيروقات

(PYR)، في بعض العضويات الحية، نسيج الثدييات العضلي مثلاً، تكون جزيئات البيروثات نفسها مرجعة، بتأثير فعل NADH المكون قبلاً، إلى لاكتات. هذا الناتج يتراكم وقتياً في الخلية ويسبب، في العضلات المحضّة حضاً جدياً نشيط بفعل مجهود، معص وآلام عضلية نعرفها جيداً. وفي عضويات أخرى كالحمائر الكحولية، يكون البيروثات منقسماً إلى أسيتالديهيد (مع انطلاق غاز كاربوني). أخيراً يكون الأسيتالديهيد مؤكسداً بالNADH إلى إيتانول، وهو ليس شيئاً آخر غير الكحول في المشروبات المتخمرة.

في هذه المجموعة من التفاعلات المحفزة بالفوسفوفركتوكيناز، تكون النقطة الجوهرية هي حساسية هذا الأنزيم القصوى لحضور AMP، الذي هو نفسه نذير الـ ADP. والـ AMP يستطيع أن يثبت في بعض مواقع خاصة من الأنزيم، الأمر الذي يحث على تغير في شاكلته يسبب ضرب كامن فاعليته بمائة. على هذا الحال، يميل انتاج ADP في غضون هذا التفاعل إلى تسريع فعل الفوسفوفروكتيناز، بضرورة مضاعفة التحفيز الذاتي. ويتسارع التفاعل، إلى أن يصبح، في المراحل التالية، الـ ADP الناتج نفسه متدرجاً (منحطاً)، مسبباً تباطؤاً للتفاعل، وتنتج هذه الميكانيكية والحالة هذه نوسانات (ذبذبات)، نبرهن وجودها بأن نلاحظ بخاصة تغيرات التآلق المرافق لتغيرات تركيز NADH للوسط العضوي. وفي معظم شروط الملاحظة، يكون دور الذبذبات من رتبة الدقيقة.

توضح حلقة الغلوكوز والميكانيكية المولدة للنوسات (ذبذبات) درجة تعقيد وظائف العضوية الحية، بالنسبة للميكانيكيات البسيطة للتفاعلات الدورية المدروسة في مختبرات الكيماء المعدنية. كانت الطبيعة، بشكل من الأشكال، «مُجبرة» على اختراع هذه الوصفات المتكلفة لكي تستطيع أن تتزع أفضل ربح من البيئة. ونعتبر أن المردود الطاقي لتحلل السكر، أي النسبة بين الطاقة الجاهزة نظرياً (بأكسدة تامة للغلوكوز) وبين الطاقة الموضوعة في الواقع تحت تصرف الموجودات الحية بشكل ATP، تكون - في حالة الموجودات الحية الحيوانية المناسبة - من مرتبة ٣٠٪، وهو رقم يندر أن تتجاوزه الآلات التي يبنها الإنسان. في وظيفة حيوية أخرى، هي

التركيب الكلوروفيلي، يكون تعقيد الميكانيكيات مفروضاً بعدم كفاية طاقة الفوتونات الشمسية حتى تسبب مباشرة تركيب الكربوهيدرات: تتيح التفاعلات الكيماوية المتتابة مراكمة طاقة عدة فوتونات، ثمانية بالإجمال لكل ذرة كربون مستخلصة من غاز الكربون الجوي ومثبتة في جزيء غلوكوز. ولا يتجاوز المردود الإجمالي المقابل بعض واحداث بالمائة، لكنه يحقق بهذه اللعبة ذات السلالم القصيرة المتتابة ما ربما كان يمكن أن يبدو ممتنعاً.

لنتهي الآن إلى السؤال الثاني. تتيح تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة فهم وجود منظومات بنيوية (مبنية)، يمكن أن يحافظ تنظيمها على بقائه رغم الانحرافات (التموجات) الإحتمالية للإقسارات التي تفرضها عليها البيئة. إن هذا التنظيم غالباً ما يسبب دورية في سلوك هذه المنظومات. بالمقابل، لا تتيح تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة فهم لماذا تنامت بالفعل، في غضون التاريخ الأرضي، شجرة الحياة العملاقة، التي يبدو كل فرع من فروعها أكثر من الغصن الذي أنجبته. إنها تبيح وجود منظومات معقدة وتتيح فهم كونها مكانياً وزمانياً منظمة. ولا يبدو أنها تستطيع أن تشرح بشكل مباشر لماذا تسلفت العضويات الحية بعناد كبير، متجاوزة طواريء تاريخ قديمه يمتد ٣ مليار سنة، سلم التعقيد.

تعقيد وتكامل طاقي لدى العضويات الحية

استرعى الإنتباه إلى تعقيد المنظومات الحية الهائل أيضاً خصائص أخرى غير عدد المكونات أو المراحل الكيماوية. ففي معظم المنظومات الفيزيا-كيماوية، تكون التبدلات الطاقية بين المنظومة والخارج نسبياً متجانسة: فهي كلها من طبيعة كيماوية، كهربائية، فوتونية... وفي المنظومات الحية، تكون التبدلات الطاقية هذه متنوعة ومتراصة. على هذا الحال يعتمد نشاط التركيب الفوسفوري الكلوروفيلي على وارد الطاقة الضوئية (الفوتونية)، بيد أن هذه الطاقة تكون مستخدمه مباشرة من أجل تحقيق نقل الكترونات عبر الأغشية، يتيح في النهاية إعداد مواد كيماوية ذات قيمة طاقية عظمى. وكلما تسلقنا سلم تعقيد العالم الحي،

نشاهد إعداد شباك أكثر فأكثر ترابطاً ، وفيها تكون الطاقة منقولة في حالة أنطروپيا خفيضة أكثر فأكثر ، وتكون أكثر فأكثر «ترتيباً» . في هذه المرحلة ، سوف نفضل التحدث عن نقل «إعلام» . وتكون بهذا الشكل البنى الكيماوية قد أوصلت إلى سوية راموزية (الراموز الوراثي مثلاً) ، رسالة بين الخلايا (الـARN الرسل مثلاً) ، ثم رسالة بين الخلايا (هومونات ، شبكة هومونية) . وتستعمل بعض الخلايا الحية أيضاً رسالة من طبيعة كهربائية ، بفضل الأغشية المستثارة ، وفي العصبون ، يشكل انتشار موجة كامن كهربائي على طول الغشاء السائل العصبي بحصر المعنى . ومن خلية إلى أخرى ، يكون نقل السائل العصبي عادة بوساطة رسالة كيماوية ، بفضل تحرير ناقل عصبي في مكان التماس بين العصبين ، يدعى مكان مشبكي ، ويستطيع السائل العصبي بهذا الشكل أن يعبر كل المنظومة العصبية وأن يكون موجهاً وفق خطة داخلية نحو أهداف خاصة . ويبلغ تكامل المنظومة ، لدى الموجودات العليا ، درجة بحيث يوجد بداهة أفعال وأفعال ارتجاعية بين طبيعة الرسائل العصبية المنقولة والبنية الفيزيولوجية للأعضاء ، نوعاً ما كما لو كان في ناظمة الية نموذج برمجي مُخضع يستطيع أن يكون له تأثير على بنية الآلة ، كما لو أن اللوجسييل «Iogiciel» يستطيع أن يؤثر على «العتاد» .

من التكوين الذاتي إلى التعقّد الذاتي

إن التكامل الطاقى جانب مهم من جوانب السيروورات التي تفضي إلى إعطاء هوية ودوام للعضويات الحية . وقد اقترح فرانسيسكو فاريللا التشديد على أهميتها بتسميته هذه السيروورات «ذاتية التكوين» ، أي إنتاج موجودات حية لذاتها بذاتها . بيد أن هذه الخاصة تبدو مميزة للمنظومات المعقدة بعامة ، بدلاً من تمييز الموجودات الحية بخاصة ؛ ونعرف الآن أن نمنح بشراً آليين (automates) علماويين القدرة على أن يبنوا وينتجوا نسخاً لذواتهم : وربما تكون بالأحرى ، الخاصة الجديدة للعضويات الحية ، المفقودة أو العديمة التأثير في المنظومات الفيزياء- كيماوية الإصطناعية ، خاصة تعقّد ذاتي : فهي تغترف في ذواتها وفي تفاعلاتها المتبادلة مع

الخارج الموارد الضرورية ليس فقط من أجل أن تنجب من جيل إلى جيل موجودات تشبهها، بل من أجل أن تمنح الوجود لموجودات أكثر فأكثر تعقيداً. وتحقق ذلك على مرحلتين. في مرحلة أولى، تبني بطريقة تراتبية خالقة تلقائياً عوائق نصف نفوذة (كالأغشية الخلوية)، بشكل يحدد مستويات نسبياً مستقلة ذاتياً لتنظيم وجريان الطاقة والأنطروبيا. من بين هذه الوحدات الجزئية المتحاورة بشكل دائم، لا تكون كثير من الوحدات غير تنسخ لنموذج مثالي، وتؤمن للعضوية احتياط «فيض». وفي مرحلة ثانية، عندما تكون درجة الفيض المكتسب كافية من أجل تأمين بقائها، تستعمل العضويات الحية الصدف الخارجية من أجل تحويل جزء من هذا الفيض الداخلي إلى تنظيم جديد، وتسلق سلم التعقيد بهذا الشكل.

إننا بعيدون عن التأميلات الحماسية والساذجة التي كانت لدى السيبرنتيين الأوائل، الذين كانوا يأملون، كونهم مسلحين بمبدأ الفعل الإرتجاعي وحده، أن يجعلوا من «بشرهم الآليين» نماذج للعالم الحي، وحتى للعالم العاقل. وكان البعض من بينهم يعتقدون أنهم بتطبيقهم النموذج الإرتجاعي، ليس بعد الآن على تفاعلات كيماوية مزاجية، بل على آليات دماغية كهربائية، ربما يستطيعون أن يفهموا وحتى أن يحاكيوا وظائف الدماغ. وصحيح أن هذه الأبحاث هي في أصل اختراع الناظمات الآلية. وقد منحت امتداداتها نتائج مذهلة إذ أنها أتاحت تطوير «الذكاء الإصطناعي»؛ وقد أمنت الآلات المتخصصة في «التعرف إلى الأشكال»، وتلك ذات العصمة المنطقية والذاكرة الموسوعية للـ «منظومات الخيرة». ويعترينا الدوار لرؤية هذه الانتصارات، ونفكر في توقعات فون نومان، الذي كان يتنبأ منذ عام ١٩٤٨ بأن «باني البشر الآليين سوف يصبح، سريعاً، أيضاً أعزلاً أمام خليفته كما نحن كذلك أمام الظواهر الطبيعية المعقدة»! وقد أجتاز، في هذه السنوات الأخيرة بعض أنماط البشر الآليين خطوة جديدة، باحتيازهم خاصيتين جديدتين يتقاسمونهما من الآن فصاعداً مع العضويات الحية: مقاومة الأعطاب الصغرى للمركبات، والتعلم، أي التكيف المتدرج مع وظيفة معينة. لكن ربما يكون من

الإفراط أن نقارن هذه الآلات ، مهما بلغ من شأن انتصاراتها، بعضويات حية .
ففي الواقع ، يمثل البشر الآليون المعنيون درجة تعقيد وسيطة بين المنظومات
الكيمائية التبديدية والمنظومات الكيمائية الحية . ولهذا السبب ، توفر نماذج
مفيدة يمكن أن تكون دراستها ثمينة . . .

* * *

الجزء الرابع

الزمان ، محرك الحياة

الفصل السادس عشر

ما هي الحياة؟

العلم هو سلاح بالنسبة للفلسفة، لكنه لا يتقدم إلا بخطى قصيرة. والـ «لاءات» الصغيرة التي يحملها إلينا لا تكون بذلك أقل نفاسة. وإذا كانت الأسئلة الكبرى تظل في ماهيتها هي عينها، فعلى أي حال تصبح التعبيرات التي تطرح بها أكثر فأكثر دقة. على هذا الحال لا نعرف بعد تعريف الوعي. إن أول بشر آلي سوف يلتفت نحو بانيه ليعلن له أنه واعٍ سوف يحدث كثيراً من الإرباكات، لأن وعي الذات لا يتحمل قط تعريفاً قابلاً للتطبيق على الآخرين وحقيقياً. لكن هل نعرف على الأقل كيف نعرف الحياة؟ إن الأجوبة التي حملها إلينا العلم تتيح أن نحدد بشكل أفضل خواصها المميزة. فالـ «لاءات» الصغيرة التي تأتي بها التجربة توجهننا، تدريجياً، نحو تفسير جديد للبيولوجيا، فيه، على غرار اكتشاف غاليليه في مجال الفيزياء، ربما يستطيع الزمان إجابة لعب دور مركزي

معايير الحي

إن أول تعريف للحياة هو التعريف الذي يعارضها بضدها المحتّم، الموت، لكن هل إن هذه التعارض مؤسس حقاً؟ هل صحيح أنه ينبغي على جميع الموجودات الحية أن تموت؟

ليس مؤكداً بشكل مطلق أن يكون الموت هو النهاية المحتمة للحياة. فبعض الموجودات البسيطة كشقائق البحر لا يبدو أنها تشيخ وتمتع بطول عمر محدود وحسب بالحوادث الخارجية، وينتمي الرقم القياسي الملاحظ لطول العمر إلى مستعمرة شقائق بحرية اجتمعتها في عام ١٨٦٢ آن نيلسن لصالح مربّي المائيات في

جامعة إيدنبورغ، وحُفظت تحت مراقبة مستمرة، دون تغيير ولا شيخوخة ظاهرة، خلال أكثر من ثمانين سنة. وقد هلك الشقائق البحرية التي أهملت عرضاً خلال الحرب العالمية الثانية.

كل عضوية حية معقدة غاية التعقيد، ويبدو هذا التعقيد على علاقة متينة بالحياة نفسها. فعضو كدماغ الإنسان يحتوي على عدد من الخلايا (حوالي ٥٠٠ مليار)، مماثل لعدد نجوم مجرة كجمرتنا! وهذه الخلايا تكون على علاقة متينة بعضها ببعض الآخر. أفلا يمكن أن يكون تعريف الحياة معتمداً على هذا التعقيد؟ كلا، لأن التعقيد ليس مرادفاً للحياة. والآلات الأكثر تعقيداً ليست بالضرورة آلات حية. فربما نستطيع حتى أن نبني آلات مفرطة التعقيد، قادرة على أن تنتج عين ذاتها. دون أن يكون الأمر حتى من أجل هذا أمر آلات حية.

وقد حدد جاك مونو، في كتابه **الصدفة والضرورة**، بدقة العبارات التي تطرح بها مسألة السمات المميزة للحي. فهو يسلم أولاً - متفقاً في ذلك مع پروغوجين - بأن التنظيم الذاتي للمنظومات الحية، بدلاً من أن يتحدى قوانين التيرموديناميكا، يستعمل هذه القوانين: «فالبنيان التلقائي (لدى الموجودات الحية) يجب بالأحرى أن يكون معتبراً على أنه ميكانيكية»، هذا ما قاله.

وقد ميز في حدث الحياة، زيادة على هذه الخاصة التمهيدية ثلاثة سمات: **التليُونوميا**، أي ظاهر مشروع (مشروع تأمين تخليد النوع)، مقترن بوجود برنامج وراثي (جينى)؛ **التوالد اللامتغير**، انجاب فرد لفرد آخر شبيه به شبيهاً جوهرياً - أو الأولى، على السوية الجزيئية، التكاثر على غرار الـ ADN في التكاثر الخلوي -؛ وأخيراً ما ربما نستطيع أن ندعوه «**الإغلاق**»، أي، بالنسبة لكل موجود حي، واقع أن تحصل الولادة وحسب بفعل قوى بيولوجية تحرك والداً من طبيعته عينها.

هذه السمات الثلاث ذات أهمية متفاوتة. فالتكاثر اللامتغير، الذي يشكل إحدى سمات الحياة الأشد إدهاشاً، كان في الغالب قد أقر على أنه الطابع المميز للحياة الأكثر جودة. في الواقع، ليس هذا الطابع طابعاً مميزاً للعالم الحي. فموتو

نفسه لاحظ أنه بمعنى من المعاني يكون تبلُّر الملح البحري انتاجاً لعين الشيء بالشيء نفسه : فالبلُّورات تتزايد بالتقاط متتابع لشوارد صوديوم وكلور من الوسط المحيط ، على نموذج هندسي تؤمنه جرثومة البلُّور . وحسب هذا التعريف قد يجب أيضاً أن تعتبر على أنها حية بعض الفيروسات التي تكاد أن لا تكون غير جزيئات كبرية بسيطة ذات أشكال هندسية ، يعرف كيميائيون أن يحصلوا عليها في الحالة التبلورية . يجب مع ذلك تنويع هذه الملاحظة ، في النطاق الذي تكون فيه الفيروسات المعزولة لا تتكاثر إلا إذا تطلعت على خلايا حية . من هذا القبيل ، ربما نستطيع أن نقول والحالة هذه أنها لا تملك الحياة إلا في حالتها الكامنة أو الموجودة بالقوة .

ظاهر مشروع

بما أن التكاثر اللامتغير لوحده لا يشكل معياراً مميزاً للحَي ، فلا بد لنا الآن من أن نمتحن المعيارين الآخرين المقترحين : التيليُونوميا والإغلاق . ما هو «المشروع» الذي يذكر به مونو؟ إن الأمر هو في الواقع أمر ظاهر مشروع إذ أنه ، بالفرض ، لا يوجد سبب غائي كي يوجه سيره . ويلخص أتلان فكر مونو هكذا : إن سيروية تيليُونومية لا تعمل بموجب أسباب غائية حتى في حين أنها تبدو على هذا الحال ، حتى في حين أنها تبدو موجهة نحو تحقيق أشكال لن تظهر إلا في نهاية السيرورة . وما يعينها في الواقع لا يكون هذه الأشكال باعتبارها أسباباً غائية ، بل تنفيذ برنامج ، كما في آلة مبرمجة يبدو اشتغالها موجهاً نحو تحقيق حالة مستقبلية ، في حين أنها في الواقع معينة سببياً بمتواليات حالات حيث جعلها تمرُّ البرنامج المعين مقدماً . والبرنامج البيولوجي نفسه ، المحتوى في المجين المميز للنوع ، هو نتيجة تطور بيولوجي طويل حيث ، تحت تأثير مفعول متواقت للطفرات وللإصطفاء الطبيعي ، ربما سوف يصبح متحولاً وهو يتكيف مع شروط الوسط . إذا يقرن مونو الحياة بغياب مشروع حق ، بغياب الأسباب الغائية في تحقيق أشكال مُعَصَّاة للحياة ، بالسوية المزدوجة لنمو فرد بدءاً من خلية انتاشية للمضغة (هذا تكوّن الفرد) ، ومن

تفريق الأنواع وتطورها نحو التعقيد (هذا تطور السلالات). نشير هنا أن الغياب المزعوم لأسباب غائية هو مبدأ مطروح قليلاً. ولا شيء يمنع، في الواقع، أن نفسر، كما كان يفعل ذلك منذ عدة عقود ببيرتيارد دي شاردان، الملاحظات الإحائية والبيولوجية على أنها تكشف فعل سبب غائي (الله)، قيد العمل داخل العالم المعدني عينه كي يدعوه إلى الحياة وفي داخل العالم الحي عينه كي يدعوه إلى الروح. بالنسبة لتيارد دي شاردان، هذا السبب الغائي يعالج بلا كلل المادة وقيم استمراراً كلياً بين المادة اللاحية، والعضويات الحية، والموجودات العاقلة. وما ندعوه الحياة والروح لا تكون حينذاك غير عتبات يجب اجتيازها تتيح لهذه الخواص الماثلة أن تتكشف. بيد أن الثمن الذي يجب دفعه من أجل مثل هذه القراءة لكتاب الحياة هو فصل رهيف بين المجال العلمي، مجال القوانين السببية، والمجال الروحي، المفتوح على القوانين الغائية. هاكم بلا شك السبب الذي من أجله يسلك القليل جداً من رجال العلم في هذه الأيام طرقاً كهذه الطرق.

طبقاً لتحليل جاك مونو الإختزالي، فإن مسألة نوعية الحي قد أرجعت إلى مسألة التطور: هل يعقل أن تكون جزيئات الـADN، التي تصيغ البرنامج الوراثي لمختلف الأنواع الحية والتي هي والحالة هذه مسؤولة عن ظهور عضويات أكثر فأكثر تعقيداً، ناتجاً ميكانيكياً للصدفة وللضرورة؟

إن تلييُونوميا مونو المؤسسة على «مشروع» تأييد النوع، لا تستطيع أن تعرض تعقيد الحياة في غضون تطور السلالات. وفي رأي فرانسوا جاكوب، لا تنحصر التلييُونوميا في مشروع تأييد النوع، فهي أيضاً وبخاصة فوز الإستقلال الذاتي العنيد. ففي رأيه، يكون الموجود الحي هو الموجود الذي ينزع إلى أن يعيش حراً؛ وبرنامج الداخلي يكون بالضبط موجهاً نحو الإنعتاق من الإقسارات، باستحالات تستلزم، منطقياً، عتبات يجب اجتيازها، ولادات متتابعة. «وما يميز على ما يحتمل التطور عن كذب أكبر، هو الميل إلى التلطيف في تنفيذ البرنامج الوراثي؛ هو «انفتاحه» في اتجاه يتيح للعضوية أن تزيد دائماً أكثر علاقاتها بوسطها

وأن تمد بهذا الشكل مدى عملها . ويكون البرنامج ، لدى موجود في مثل بساطة باكتيريا ، شديد الصلابة في التنفيذ ، إنه «مغلق» من هذا القبيل أن العضوية لا تستطيع ، من جهة ، أن تتلقى من الوسط إلا إعلاماً جذاً محدوداً ، ومن جهة أخرى أن تتفاعل فيه إلا بطريقة معينة بدقة . . . وعلى السوية العيانية ، يعتمد التطور والحالة هذه على إنشاء منظومات اتصالية جديدة ، في داخل العضوية كما بينها وبين ما يحيط بها . و يترجم ذلك على السوية المجهرية بتعديل البرامج الوراثية ، من حيث الكيف ومن حيث الكم .

نعشر والحالة هذه ، كتمهيد لتعريف للحى ، على المقومات عينها التي عودتنا عليها دراسة المنظومات التبددية . والعضويات الحية ، شأنها شأن هذه المنظومات التبددية ، هي منظومات مفتوحة بشكل أساسي ، بالمعنى الذي ليرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة : فلكي تعيش ، عليها أن تكون قادرة على أن تتبادل مع الخارج مادة وطاقة . من جهة آخر إنها تكون على ذلك الحال بالضرورة ، لأن بناء تعقيدها لا يمكن أن يتحقق إلا لقاء استهلاك انتفاء انطروپيا موجود قبلاً يؤمنه مباشرة ضوء الشمس (كما في حالة التركيب الضوئي) ، أو يؤمنه بشكل غير مباشر كل الأغذية العضوية الغنية بالطاقة والمحملة بانتفاء الأنطروپيا . بيد أن الحياة تتطلب بعداً إضافياً تيليونومياً ، مشروعياً ، فوزاً بالحرية ووفق النظرية التآلفية (التركيبية) للتطور ، يكون هذا التوجه مفروضاً بالاصطفاء الطبيعي . فالمسألة والحالة هذه تطرح الآن بالعبارات التالية : هل إن وجود برنامج وراثي داخلي ، مقرون بتحريضات البيئة الخارجية التي تجاوب عليها الحياة بالاصطفاء الميكانيكي الأكثر جدارة ، يكفي من أجل تحليل ملاحظتنا الإحائية والبيولوجية ؟ إن مونو كدارويني جديد مقتنع يؤمن بذلك بثبات . لكن يبدو أكثر إنصافاً ، هنا أيضاً ، أن نقر بارتيا بنا حول هذا الموضوع .

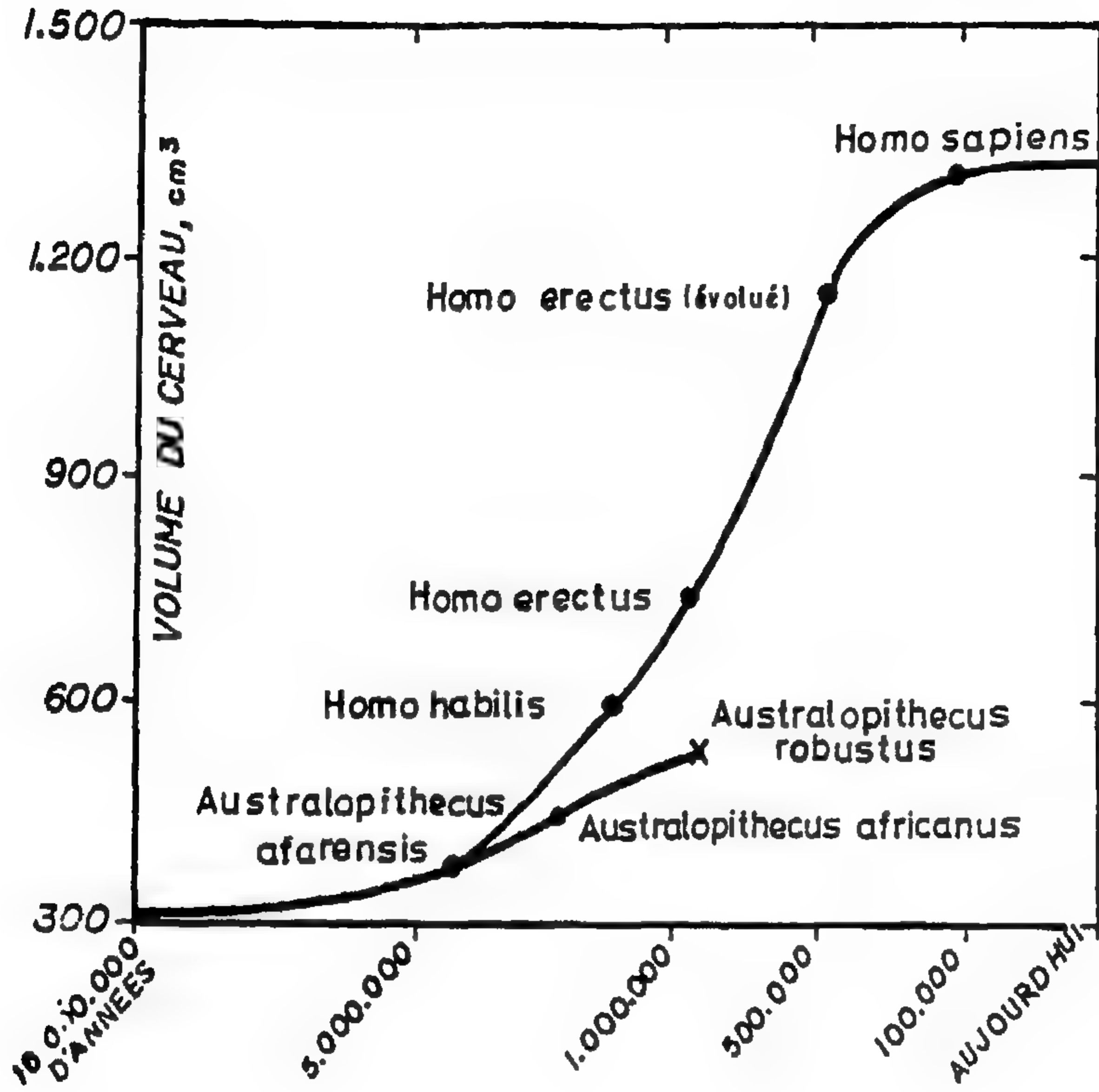
منذ مضي عشرة السنين ، لم يكن يستطيع فحص خالٍ من الحماس أن يوصل عقلاً مستقلاً إلى أن يعتنق بلا تحفظ إيمان الداروينيين الجدد . لم يكن موقفهم

المناضل ، القابل لأن يُشرح بلا شك بمشروعهم للإطاحة بقرون من الدغماتية الدينية ، يمضي دون رأي قبلي إيديولوجي . كان نظريون جديون يستنتجون ، وهم يقومون بتصنعات على ناظمات آلية ، امتناع تخطيطية مقترحة وفقها ربما يكون تعقيد الحياة قد ازداد حسب مشيئة صدف الطفرات الوراثية والإصطفاء الطبيعي . وقد كانت هذه الحسابات قد نشرت بشكل شبه سري . مع ذلك كانت بعض العقول تملك ما يكفي من الإستقلال من أجل التنديد بأعلى الصوت بهذه الصعوبات والتعبير عن الشك بصدد استطاعة الداروينية الجديدة الشرحية .

تسارعات التطور

إن الإمتياز الذي مُنح للراموز الوراثي ، كشرط أساسي ومميز للحَي ، لا يتيح فهم لا بداية الحياة ولا قدرتها على التعقّد ، على طور التطور . وحوار الحي مع البيئة هو أيضاً أساسي ، بيد أنه لا يبدو أنه يمكن أن يتلخص بقواعد الصدفة والإصطفاء العمياء ومن أجل إيضاح طرائق هذا الحوار ، لا حظ فرانسوا جاكوب أن خواص الحي لا تتركز على التركيب الكيماوي للـ ADN . فللحياة أيضاً كخاصة مميزة كونها قد تنظمت من ناحية التطور السلالية والتكون الفردي بشكل تدريجات متتابعة ، مع سويات تكامل مترابطة . وفي غضون التطور أتم كل تدرّيج تنظيمه الخاص قبل أن تستطيع العضوية أن تنتقل إلى مرحلة تعقيد أعلى (مثلاً - حسنت الحياة الخلوية نفسها خلال زمن طويل قبل ظهور موجودات متعددة الخلايا) : فالحياة تسَلّقت سلّم «أجزاء مكملّة intgrans» وقد عرف التطور ، في بعض أدوار تاريخه ، تسرعاً عنيفاً ، يتناقض مع تحسين المراحل السابقة الهادىء ، وهذه هي ، مثلاً ، حالة الظهور المتواقت ، منذ ما يقرب من ٥٧٠ مليون سنة ، لتشعبات المملكة الحية الرئيسية ، انطلاقاً من موجودات بحرية رخوة ومتجانسة نسبياً كانت تقطن البحار ما قبل العصر الكمبري . وهذه على ما يبدو أيضاً حالة الدور الذي يحدد غزو الأرض اليابسة من قبل الفقاريات الأولى الرباعية الأقدام ، منذ عام ٣٨٠ أو ٤٠٠ مليون سنة . لكن ما هو مرموق أكثر من هذه التسارعات

يتعلق بلا شك بتنامي القشرة الجبهية في النوع البشري، لأن هذه القشرة ضاعفت عملياً حجمها في أقل من مليون سنة، من الإنسان المنتصب إلى الإنسان العاقل الحديث.



على هذا الحال «لا تزال السرعة التي تنامي بها دماغ الإنسان صعباً فهمها بما فيه الكفاية». وإنه لفي غضون هذه السنوات الأخيرة، أن بدأنا، مع اقتراح مراقبة زمانية للتعبير الوراثي والإكتشافات الأولى الخاصة بمورثات التنظيم، نتصور نمط

قواعد اللغة التي ربما تستطيع أن تقني التطور، وتعمل بحيث لا تظهر الطفرات إطلاقاً باعتبارها ثمرة الصدفة البحتة، بل تظل في خط تلاحم معين.

هل إن التطور الوراثي (الجيني) يخضع لقواعد نحوية؟

إن هذا النحو، الذي لا نعرف بعد كل قواعده، يُقني الصدفة ويوجه تكون الفرد وتطور السلالات في اتجاهٍ جَدِّ معين. ولكونه ينطبق على الإنسان، فقد أوحى لجيرمي كامبيل عنوان كتابه الجميل *The grammatical man*. فهذا يلح على التمييز بين جينات (مورثات) بنيوية وجينات تنظيمية، الموازي للتمييز بين الكلمات وقواعد النحو العادي. ويتيح، لدى طفل صغير، تكديس كلمات، لا بمحض الصدفة بل تحت إشراف قواعد نحوية مكتسبة مقدماً، اختراعاً دائماً لجمل جديدة مجهزة بمعنى واضح. بالطريقة نفسها، لا يبدو أن الطبيعة تخرع، في غضون التطور، الطفرات الوراثية بطريقة عمياء بشكل مطلق، بل تستسلم لنحو (قواعد لغوية) يُحتمل أن يكون مفروضاً جزئياً بالبيئة، وجزئياً مقيماً في المورثات (الجينات) التنظيمية.

من جهة البيئة، ربما يتعلق التعقيد المتزايد للموجودات الحية بخواص تنظيم ذاتي بالضحيج، تعزى فكرته لقون فويرستر. وقد لاحظ هانري أتلان بهذا الصدد أن تعقيد المنظومات الحية يتوطد بواسطة لعبة بارعة بين لغو للبني داخلي والصدفة الخارجية. وتغترف الفوضى الخارجية من مدخر البني الفائضة من أجل خلق تعقيدات جديدة. على هذا الحال ألا تمنح النسخ العديدة لبعض تسلسلات الـ ADN، الوافرة في العديد من نسخ الموارث الجينية، فرصة للعضويات لاكتساب جينات جديدة من أجل صنع البروتين، كانت إلى ذلك الحين غير موجودة. إن إرث الضفدع المورثاتي (الجيني)، الذي يحتوي تكرارات دوافع بعشرات الأولوف تجعله أطول من الإرث المورثاتي للإنسان، إذا ما نظر إليه من هذه الزاوية، يملك على ما يحتمل استطاعة تطورية بالنسبة للمستقبل تفوق استطاعة الإنسان! من جهة أخرى، تشكل الجنسانية، أي على سوية البيولوجيا الجزيئية الإسفاد المنهجي في

مجين بعينه بين مورثين لهما الوظيفة نفسها، أيضاً مدخر لغوفائض. وقد أتاح ادخالها في تاريخ الحياة بخاصة ظهوراً مكتوما لمورثات صاغرة، أي لمورثات لا تقود إلى ظهور سمات جديدة، ما دامت تظل مقنعة بالمورثات المتماثلة المهيمنة. سوف نلاحظ بشكل عابر أنه حسب بعض النظريات الحديثة العهد، ربما يستطيع هذا الفائض أن يلعب أيضاً دوراً مهماً في السيرورات الشيخوخية، التي تفضي إلى الموت، في النطاق الذي تدخل فيه أيضاً هشاشة إضافية إلى المجين. وفي رأي ستريهلر، ربما يستطيع تفتت الـADN المورثاتي عبر فقدان نسخ في المورثات المسؤولة عن انتاج الـARN الريبازي، أن تلعب دوراً أساسياً في السيرورة الشيخوخية.

أما ما يتعلق بقواعد النحو المحتواة في مورثات التنظيم أو مخبأة في كتلة الـ«أنترونات» الضخمة «وهي أجزاء الراموز الوراثي التي لا تُنسخ أبداً إلى الـARN (رسول)، ويبدو أنها تنسق الجزء الزماني من النماء وتشرف على التفريق الخلوي.

وتذكر خاصة التعقد الذاتي الموهوبة إلى العضويات الحية بقدرة على القرار ربما تكون هذه العضويات مزودة بها: وربما لا يكون للحياة هدف آخر غير أن تنظم ذاتها بذاتها. وكما أثبت ذلك أشبي في عام ١٩٦٢، ربما لا تستطيع منظومة مغلقة أن تجد في ذاتها المعايير التي يجب تطبيقها من أجل إقرار ما إذا كان التنظيم الذي تم بلوغه حسناً أو سيئاً من وجهة النظر المتعلقة بتزايد التعقيد. إن هنري أتلان يستخلص من ذلك دليلاً من أجل التمسك بدور البيئة: إن مشروع الحياة الظاهر يُملى من الخارج، وبالضبط عبر الانحرافات (التموجات) الصدفوية للبيئة التي تخضع لها الحياة. وتبدو مفارقة ظاهر مشروع منبجس من صدف البيئة بدهية، لكنه ينضم إلى تحليلنا لدور الصدفة الكوسمية في متجهة (سهم) الزمان الفيزيائي. يجب أن نعترف، مع ذلك، أننا لا نزال بعيدين عن فهم هذه الآليات فهماً تاماً.

ظهور الحياة

عندما نعرف كل المعرفة القواعد النحوية التي توجه عمارة الحياة، سوف نستطيع على ما يحتمل أن نفهم الميكانيكيات التي بواسطتها ظهرت الحياة على

الأرض ، ويعتقد كثيرون أن الشروط الإستثنائية التي كانت تسود على سطح الأرض منذ ثلاث أو أربع مليارات السنين سهلت الانتقال من اللاحي إلى الحي . وقد كانت تجارب ستانلي ميلر وهارولد أوري ، في جامعة شيكاغو ، في عام ١٩٥٣ ، حول إنتاج الحموض الأمينية في جو أعتبر أنه يمثل الجو البدائي وأخضع إلى انفراغات كهربائية قوية (يشابه العواصف التي كانت حينذاك عديدة وعنيفة) تمنح الأمل في فهم بدايات الحياة في النطاق الذي كانت تتيح فيه ملاحظة ظهور بعض الجزيئات العضوية البسيطة (حموض أمينية) في خليط خامل . إلا أن الجو الأرضي في ذلك العهد ، وهذا ما نعرفه الآن ، كان فقيراً بالميتان ، وغنياً بالغاز الكاربوني ، جاعلاً بذلك هذا النوع من السيناريو قليل الإحتمال ، فيما بعد بقليل افترض فرانسيس كريك وفريد هويل أن الحياة ربما لا تكون قد ولدت على الأرض بل كانت قد جلبت من الخارج ، بواسطة بعض الجراثيم المحتواة في الأحجار النيزكية ؛ وكانت هذه الفرضية تعتمد على ملاحظة بعض الجزيئات العضوية البسيطة التي كشفت في تحليل طيوف امتصاص غبار ما بين النجوم كما في بنية الصور المجهرية لبعض الأحجار النيزكية ، التي تذكر بهيكل العضويات الحية المجهرية . وقد اعترف أنطوان دانشان في الوقت الذي تقدم فيه بقرضية معقولة تقول بأن الحياة ربما تكون قد ظهرت بدءاً من كون معدني ، أن مسألة بداية الحياة «تظل موجودة بالفعل بقدر ما هي غير مفهومة» . وكل السيناريوهات التي وفقها ربما تكون الجزيئات الأولى التي تنتسخ ذاتياً قد ظهرت بمحض الصدفة ، سواء أكان ذلك على الأرض أو في وسط ماكوني ، غير مرضية ؛ إن السموم التي يمثلها بالنسبة لميكانيكيات تنسخ الأولى معظم الجزيئات العضوية التي ربما تكون قد تشكلت في الشروط نفسها ربما كان يجب أن تقتل الحياة منذ المراحل الأولى التي تم اختيارها . . . فالجزيئات الحية الأولى انتمت على ما يحتمل إلى صنف الحموض النووية (فكرة اقترحها في البداية فويز وأوجيل) بدلاً من أن تنتمي إلى صنف الحموض الأمينية والبروتينات . وقد يسرت هذه الفرضية بملاحظة قطعة ARN ريبوزومية من نوع Tetra hymana Pyriformis وهو حيوان أولي بدائي وحيد الخلية ، يملك قبلاً خواص تحفيزية كان يعتقد حتى الوقت الحاضر أنها مقصورة على

الأنزيمات . فهل يجب ربط بداية الحياة بالحموض النووية أو بالبروتينات؟ إن النقاش كما قد لاحظ ذلك أيضاً دانشان يشبه شبهة قوياً، المسألة القديمة حول أولوية البضوية أو الدجاجة . ويميل الجواب الآن بالأحرى نحو الحموض النووية، لكن لا شيء قد بُتَّ بعدُ بشكل نهائي .



إن هذه اللمحة العاجلة عن طبيعة بداية الحياة تتيح التحقق مرة أخرى أن المسائل الكبرى باقية بلا تغيير، في الوقت الذي تتنقى في العبارات . والتفكير الراهن حول طبيعة الحياة يحيل بأصرار إلى أسئلة أرسطو القديمة التي كانت تؤكد قبلاً، منذ مضي عشرين قرناً أهمية التنظيم كمعيار مميز للحي، إلى حد مماثلة الروح التي تحرك المادة العاطلة كي تمنحها الحياة بالتنظيم الحميم للحياة . وكما قد لاحظ ذلك غيديس، إن مثل هذه الأطروحة قريبة بشكل مرموق من التصورات الحديثة، مهما كان قليلاً أبدالنا الروح الأرسطوطاليسية بالإعلام .

لكن التنظيم يبني خطوة فخطوة، مع مرور الزمن، فالزمن يلعب والحالة هذه دوراً أساسياً ونشيطاً في تطور الأنواع ونماء الأفراد . من هذا القبيل، لا يمكن لأي تعريف إجرائي للحي أن يكون مُعطى إذا لم يكن مشتملاً على بعد زمني خاص، ومثل هذا البعد لا يكون حاضراً بوضوح في تفكير جاك مونو مثلاً وهذا على ما يحتمل ما يكون هشاشته . وأكثر من العالم المعدني وعلى ما يحتمل بطريقة مختلفة كيفياً، يوجد العالم تحت سلطان الزمان . إنه عالم اهتزازات كعالم الذرات، لكن اهتزازاته لا تعين وحسب السويات الطاقية، بل الطبيعة ذاتها، أو الأصح طراز وجود المواضيع المعتبرة . عالم، فوق ذلك، تنسج فيه الاهتزازات شبكة معقدة من الإتصالات المتبادلة، من التضامات، من التجاوبات مع إيقاعات الواحدات الحية المجاورة أو مع الإيقاعات الخارجية . لقد أتت لحظة التثبيت من أن الزمان لا يلعب وحسب دوراً أولياً في بناء الحياة، بل ومن أن الإيقاعات تكون لازمة أيضاً للإبقاء على الحياة في تعبيرها العادي وفي وطائفها اليومية .

الفصل السابع عشر

الحياة،

حزمة من الحلقات المتشابكة (المتشابكة)

إن الشروط الصارمة اللازمة لحلول الحياة والحفاظ عليها تجعل منها نوعاً من «المعجزة الدائمة»، جعلت ممكنة بظهور، ثم تهذيب كل أنواع الميكانيكيات الخاصة بالإشراف السيبرنيتيكي cybernetique على شروط الوسط الداخلي. والحياة موسومة بجهد مستمر من أجل التصدي لتغيرات الوسط الخارجي، والإبقاء على شروط الوسط الداخلي ثابتة. والموجود الحي كسب، بواسطة ميكانيكيات التنظيم هذه، بالتدريج، الإستقلال الذاتي وطول العمر الضروري للبقاء بعد اضطرابات الطبيعة الدورية. لقد تعلم أن يقاوم توالي النهار والليل، والاضطرابات الكارثية وغير المتوقعة، كالقحط أو فقدان غذاء بشكل فظ، مع ذلك لم تفرض هذه الملاحظات نفسها على الذهن إلا بشكل متأخر جداً: فمفهوم الاستتبات أدخله في البيولوجيا وولتر كانتون في عام ١٩٢٦. وهذا القرب النسبي في الزمان لم يتح للعلم اكتساب الابتعاد الضروري من أجل التأكد من أن الإستتباب ليس في معظم الأحيان غير مشهد إجمالي لشبكة حلقات معقدة جداً تترجم بتذبذبات (نوسانات) إيقاعية لمعظم المعالم parametres الحيوية.

من الإستتباب إلى الزمانيات الحيوية (الحيزامانيات)

الإستتباب هو المبدأ الذي وفقه تضبط العضوية الحية وسطها الداخلي، بحيث يُبقي على عوامله الرئيسية ثابتة: درجة حرارة، تركيز مختلف المواد الكيماوية، الخ. بيد أن ثبات الوسط الداخلي هذا ليس صحيحاً إلا بتقريب أول.

لنتفحص حالة قطعة صغيرة من معاء . للوهلة الأولى ، يبقى مشهده هو هو على مر الساعات والأيام . وتكشف لنا ملاحظة متأنية أكثر عملاً لا ينقطع يجري تحت هذا الثبات الظاهر ، إنه يظهر أن الخلايا التي تغطي هذا الحاجز الداخلي للعضو ، مبدية زغابات عديدة وعميقة ، تكون خاضعة باستمرار لاستبدالات : فالخلايا الواقعة في ذروة هذه الزغابات تزول بموت طبيعي أو تنتزع بعبور الأغذية المعائي . وتكون معوضة باستمرار بخلايا جديدة ، تنتج من الانقسام الخلوي في قاع الخبايا وتهاجر نحو ذروة الزغابات ، ويكون التعويض في غضون حياة البلوغ دائماً و كلياً وسريعاً نسبياً ، إذا ما فكرنا بأن خلايا الخبايا تعاني وسطياً انقساماً واحداً في اليوم .

يروي ، آلان وينبيرغ ، أحد الطليعيين الفرنسيين في حقل البحث هذا الذي يدل عليه بعبارة الحيزامانيات ، في أحد أوائل مؤلفاته دهشته عندما اكتشف هو ومعاونوه التغيرات الدورية لمحتوى الأوبال بالأملح ، وبخاصة تغيرات شاردة الپوتاسيوم . « كانت دهشتنا أمام هذه النتيجة كبيرة . فلا أحد كان قد تحدث إلينا أبداً ، في غضون دراستنا الجامعية ، سواء في كلية العلوم كما في كلية الطب ، عن هذه التغيرات الإيقاعية . على العكس ، كان التعليم الذي كنت اتلقاه يتيح لي أن أعتقد أن مجموعة من المنظومات العصبية - الصماوية تعمل في العضوية بحيث تبقى على الأوساط الخلوية وخارج الخلوية ثابتة » . وقد اكتُشف منذ عدة عقود من جديد ، أن الإستتبابات ليست سوى مشهد إجمالي للأشياء وأنه على السوية الموضوعية تعاني پاراميترات كثيرة تغيرات موقّعة . فالموجودات الحية ترتبط والحالة هذه بشبكة معقدة جداً من الدورات (الحلقات) ، التي تترجم بنوسات (ذبذبات) منتظمة . وتحلل السكر وانقسام الخلايا الفتيلي (تفتل الخلايا) وتفتل الزغابات المعوية ليسا سوى مثالين من بين عدد وافر من الأمثلة .

لكثير من بين هذه الإيقاعات دور يقرب من ٢٤ ساعة . لهذا السبب ، تدعى دورات يومياوية ، ولأخرى إيقاعات تقرب من سنة : وتدعى دورات عاماوية . ولأخرى في النهاية إيقاعات متسوّطة ؛ دورة الخصوبة لدى المرأة مثلاً ، التي تكون قريبة من دور دوران القمر .

إن الموجودات البدائية البدائية النواة (محرومة النواة)، رغم بساطتها، تظهر قبلاً إيقاعات يومية، مع أن الأدبيات بهذا الصدد لم تكن بعد وافية بما يكفي وأن الملاحظات ربما تستحق أن تكون مؤكدة. وعلينا أن نلاحظ أن هذه الأنواع البدائية تعرف على الأقل نشاطاً بالضبط موقع: نشاط توالدها، الذي يتم بانقسام بسيط، على فترات منتظمة تقريباً.

لدى الپروتستات (وهي موجودات وحيدة الخلية مزودة بنواة تبدي تعقيداً داخلياً كبيراً)، نستطيع أن نميز بوضوح بعض النشاطات المضبوطة بالإيقاع حسب توالي النهار والليل. وحالة السوطيات الثنائية من نوع غونيولاكس پوليدرا درست جيداً. هذه العضويات المجهرية مسؤولة عن بصيص العوالق البحرية. إنها تبدي نشاط لمعان ضوئي دورياً مرموقاً، ذا دور مدته ٢٤ ساعة. ونؤكد من أن هذا النشاط يستمر عندما نضع هذه الحيوانات في محيط ضوئي مستمر، مع أن شدة الظاهرة تتناقص بسرعة عندما تزداد سوية الإنارة المحيطة. فدور اللمعان الضوئي لهذه الپوتيستات ليس والحالة هذه مرتبطاً بتعاقب النهار والليل. ففي محيط مضيء ثابت، تبتعد قيمة الدور قليلاً عن ٢٤ ساعة. وتستمر مستعمرة من هذه الحيوانات خاضعة لتوالي إضاءة وتعتميم اختل فجأة، لبعض الوقت، في متابعة الإيقاع السابق، قبل أن تتكيف مع الدورية الجديدة.

والنشاط التركيب الضوئي النباتي يكون أيضاً موقعاً بفعل توالي النهار والليل. وتلتقط الصانعات الخضراء، في محيط ضوئي فوتونات وتستعمل طاقتها من أجل فصل جزيئات الماء إلى أكسجين (تدفعه إلى الجو) وهيدروجين تستبقه. وتكون ذرات الهيدروجين هذه بعدئذ مركبة مع الغاز الكربوني الجوي من أجل تركيب الكاربوهيدرات التي تؤلف مادتها الخاصة. وقد لوحظت أيضاً أنماط إيقاعات يومية أخرى لدى النباتات.

إن الإنقسامات الفتيلية (التفتلات)، أو تكاثر الخلايا بتضاعف الكروموزومات، تتم أيضاً وفق طقس لا يتغير ومنتظم انتظاماً دقيقاً. ويبدأ، بعد

طور نشاط خلوي عادي دوره متغير ، تضاعف الـ ADN المحتوى في نواة الخلية . فهذه النواة تنتفخ قليلاً ، وهذه إشارة سابقة لإنطلاق التكاثر بحصر المعنى . وهذا التكاثر يجري في أطوار عديدة : الطور الأول ، بدء الدور التالي ، الطور التالي (في أثنائها تظهر الكروموزومات بوضوح أكثر فأكثر وتنظم) ، طور الصعود (فصل الكروموزومات إلى زمرتين وهجرة) و طور بعادي (كل زمرة كروموزومات تعيد صنع نواة منفصلة) وانقسام هيولي . والسيرورة بكاملها تستغرق قرابة ساعة (نباتات) أو نهاراً (بشر) . نسبة التجدد الخلوي ، التي يجب أن لا تخلط مع مدة الإنقسام الخلوي ، متنوعة جداً حسب النسيج : خلايا الأدمة العميقة تنقسم مرة واحدة كل أربعة أيام ، الكريات الحمر تعوض كل أربعة أشهر ، الخ .

المقاتيات الهرمونية

إن الوظائف البيولوجية المرتبطة بالتكاثر وبتبادلات الطاقة المابين خلوية ليست وحدها كائنة موقعة . فالوظائف المرتبطة بنقل مواد نشيطة أو إعلام بين أعضاء تكون أيضاً مضبوطة بإيقاعات ، يكون كثير منها من نمط يوميائي . ونعرف بهذا الصدد الدور الذي تلعبه في الجسم البشري الهيرمونات التي تنتجها الغدد الصماوية وينقلها الدم نحو هدفها . والبعض ، من بين أكثرها أهمية ينتجها النخامي ، الذي هو غدة تقع في قاعدة الدماغ و تقع تحت إشراف شبك عصبونية . وينتج النخامي بخاصة ACTH (الهرمون الموجه لقشر الكظر) (أو هرمون موجه قشري) ، على طراز يوميائي ذي نهاية عظمى بادية ، لدى الإنسان ، عند الفجر (ونهاية صغرى عند حلول الليل) . والـ ACTH يشرف جزيئاً على نشاط الغدد الكظرية (فوق الكلوة) ، المكلفة بدورها بأن تنتج القشرانيات ، التي نعرف أهميتها في بنية الجسم البشري . إن النشاط المنتج للكورتيزون في بعض الأمراض الحساسية مثل الربو يشرح لماذا تحصل النوبات الأكثر تواتراً والأكثر وخامة بصورة عامة خلال الليل ، في حين أن نسبة هذا الهرمون في الدم تكون في نهايتها الصغرى . فهذه

النوبات الليلية لا تكون والحالة هذه مرتبطة وحسب بالضيق النفسي، كما يُعتقد ذلك أحياناً، إلا أن لها قاعدة فيزيولوجية أكيدة.

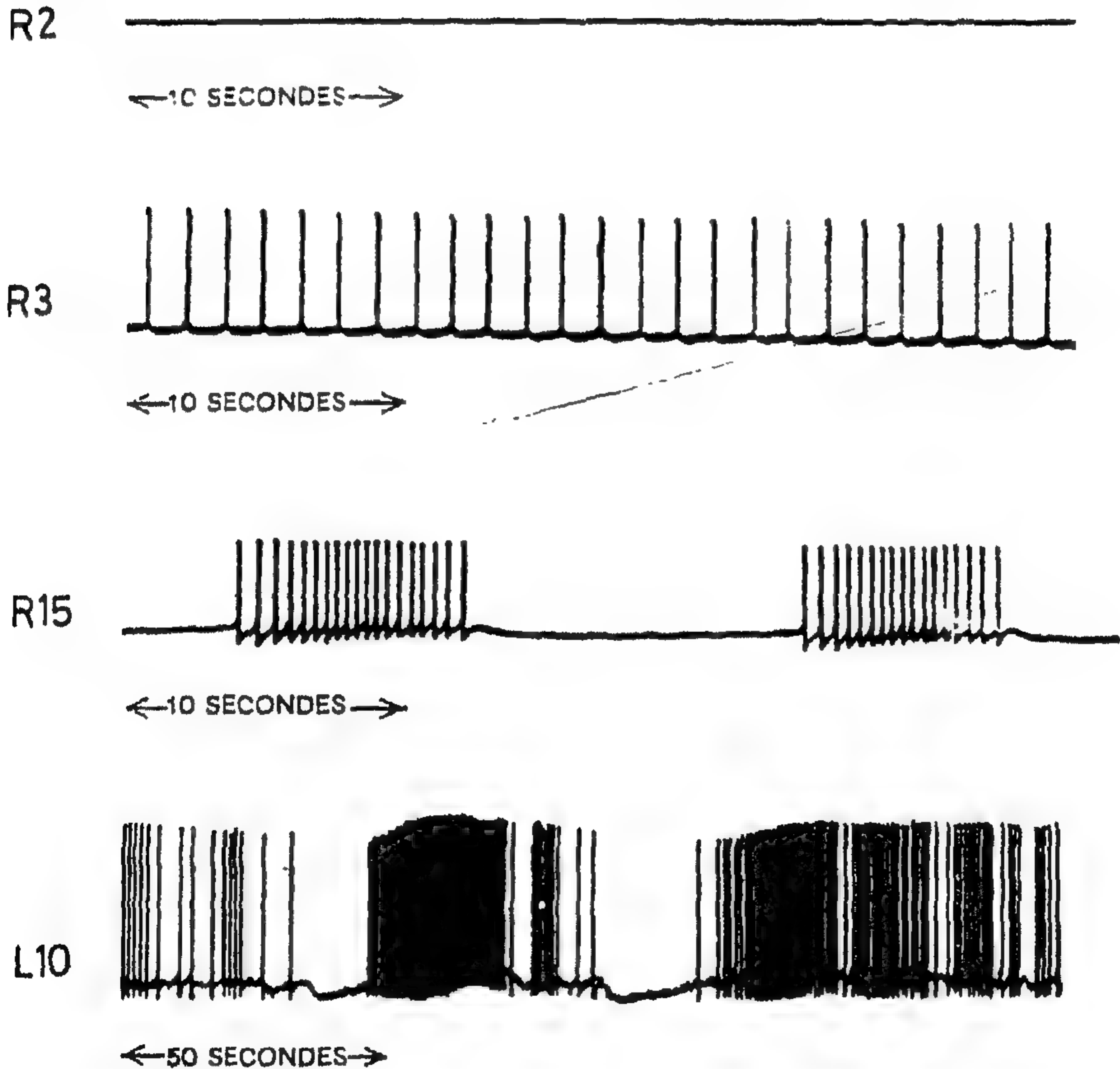
نوسانات (ذبذبات) في الجملة العصبية المركزية

إن إنتاج النخامي للهرمونات هو شكل رسالة يرسلها الدماغ إلى مختلف أعضاء الجسم تكونها الجملة العصبية. ويداهة، هذه الجملة تكون أيضاً مقر نوسانات (ذبذبات) وإيقاعات، فالخلية العصبية الفردية تكون قبلاً من بعض النواحي مذبذبة. لتفحص تكوين خلية عصبية نمطية. فجسمها الخلوي، ممتد بخيط طويل أو «محوار» متخصص بالنقل على بُعد للتنبيه العصبي. ويكون الجدار المحواري مجهزاً بأقنية مجهرية عديدة، تدع (حسب طبيعتها) شوارد الصوديوم أو البوتاسيوم تمر. وتكون فتحها مقادة بالكامن الغشائي^(١): ومنذ أن يتجاوز هذا الكامن، إثر إسهامات متلقاة على سوية الجسم الخلوي أو التغضنات^(٢)، عتبة معينة، تنفتح أقنية الصوديوم، تاركة وابل شوارد صوديوم تدلف وترتمي في الخلية، وبعد إبطاء طفيف، تنفتح أقنية البوتاسيوم بدورها، وتفلت الشوارد الموافقة من الخلية. ويحدد مد وجزر الشوارد هذا كامن فعل، وهذا تغير عنيف وانتقالي في كامن الغشاء يمر موضعياً، في أقل من واحد على الف من الثانية، من -٧٠ م ف إلى +٣٠ م ف قبل أن يرجع بالتدريج إلى قيمته البدئية، وتنتشر هذه الهزة الكهربائية على طول الليف المحواري: وهذا هو الجزء النشط وذو الدلالة من التنبيه العصبي. بيد أن الغشاء الخلوي هو أيضاً مجهز بأقنية أخرى، مع ثوابت زمانية جداً أبطأ. بعضها، وهي نفوذة لشوارد البوتاسيوم، تتيح لهذه الشوارد أن تنفلت في الوسط الخارجي، وبعضها الآخر، وهي نفوذة للكالسيوم، تدع بخلاف ذلك هذه الشوارد تدخل في الخلية، وتحدد لعبة هذه الأقنية البطيئة ذبذبات بدون انتشار الكامن

(١) بدقة أكبر، المقصود هو فرق كمون كهربائي بين الوسط الداخلي والوسط الخارجي للعصبون، من جهتي الحاجز الغشائي، المسبب بفرق التركيز الشاردي لمختلف الأنواع في هذين الوسطين. في حالة السكون، يكون الوسط الخارجي أغنى جداً بالشوارد Na^+ , Ca^{++} , C^- ، والوسط الداخلي يكون أغنى جداً بالشوارد K^+ .

(٢) التغضنات تكون زوائد بشكل جذر العصبونات. وهي تلتقي المعلومة العصبية الداخلة وتنقلها إلى الجسم الخلوي.

الغشائي، ذات دور يمكن أن يبلغ عشر ثوانٍ. لكن إذا ما تجاوز كامن الغشاء، في غضون الذبذبات، القيمة العتبة المميزة لانفتاح أقنية الصوديوم، فإن كامن عمل يصبح مولداً وينتشر على طول المحوار. وكوامن العمل هذه تتابع بانتظام، متجلية الواحد بعد الآخر أو على هبات يفصلها دور الذبذبة البديئة. وتكون مثل هذه الدورات ملاحظة بكثرة في التسجيلات التي تتم بواسطة الكترودمجهرية (مسرى كهربائي مجهرية) أدخل في أو في جوار عصبون خاص. وهناك مثال معروف جيداً هو مثال العصبون R15 للعقدة العصبية للأبليزي (بزاق بحري عصبوناته قليلة



العدد وكبيرة الحجم تجعل منه صنفًا ممتازاً بالنسبة للبحث الخاص بالبيولوجيا العصبية). إن نشاط هذا العُصبون الدوري، الذي سبق له أن غدا مرثياً عندما سجلنا نشاطه في حيوان حي وتام، يدوم عندما نعزل العقدة العصبية، وحتى عندما نعزل العصبون نفسه: فالأمر هو والحالة هذه أمر إيقاع ذاتي التولد.

نجامة وزمانيات حيوية (حيزامانيات)

إن غالبية الإيقاعات الداخلية المدروسة بالنجامة هي إيقاعات يومية، أي ترافق توالي الليل والنهار الطبيعي. وتكون إيقاعات أخرى عاميائية؛ وأخرى أخيراً، مثل إيقاع خصوبة المرأة، تطرح مسألة ارتباطها بالدورة القمرية التي مدتها ٢٩ يوماً ونصف، يوجد والحالة هذه ظن قوي بأن تكون أدوار هذه الدورات متعلقة بالدورات الفلكية. فهل تحكم النجوم الحياة ونبضاناتها، طبقاً للإعتقاد القديم.

إن فحصاً أكثر تنبهاً يدلنا على أنه، بصورة عامة لا تكون الإيقاعات البيولوجية متوافقة بكل دقة مع الإيقاعات الفلكية. ونتأكد من ذلك بفحصنا دوريتها في محيط متحرر من الإقसार الفلكي. ومثال دورية اللمعان لدى الغونيولاكس بوليورا يظهر ذلك: ففي ضوء اصطناعي ثابت، تبتعد الدورية عن الـ ٢٤ ساعة إن إيقاعاً آخر، جوهرياً بالنسبة للإنسان، هو إيقاع تتابع حالات اليقظة والنوم. وكما قد شاهدنا ذلك لدى الأشخاص المكرهين على الحياة بدون ميقاتية وبدون تماس بالخارج، تأخذ إيقاعات النوم، ودرجة حرارة الجسم، النخ، تلقائياً قيمة تختلف عن ٢٤ ساعة، وتكون بصورة عامة قريبة من ٢٥ ساعة. ويشرح هذا الفرق بين الإيقاع الفلكي والإيقاع الداخلي المنشأ لماذا نتحمل بشكل أفضل الفوارق التوقيتية في أثناء الرحلات الجوية العابرة للقارات نحو الغرب مما هو الأمر نحو الشرق، فساعة فارق توقيت لا تحس بها العضوية لأنها تقرب ساعة النوم من اللحظة المحددة بالميقاتية الداخلية المنشأ. على العكس، عند سفر بالطائرة نحو الشرق، يقود فارق توقيت قدره ساعة العضوية إلى فارق إضافي بالنسبة لإيقاعها الداخلي المنشأ.

من الغريب، أنه يبدو أن الإيقاع يقظة - نوم لدى إنسان موضوع في شروط إضاءة اصطناعية لا يدوم إلا لبعض الوقت على قيمة ٢٥ ساعة. فحين يتم العزل التام الممتد، في كهف مثلاً، نتبين أن دورة النعاس تنتقل بعد ما يقرب من اسبوعين تلقائياً «إلى الأربع الأعلى»، أي إلى ٤, ٣٣ ساعة، أو العكس تنخفض إلى نصف هذه القيمة. مع ذلك، يبقى إيقاع درجة الحرارة بدور من ٢٥ ساعة. فالعضوية والحالة هذه تختار تلقائياً خطة تنظيم لايقاتها الداخلية المنشأ الخاصة غير تلك التي تتبناها في الضوء الطبيعي.

إن إيقاعاتنا ذات المنشأ الداخلي تكون والحالة هذه متوافقة مع، وليست مأمورة بالإيقاعات الفلكية، ويجب والحالة هذه أن تكون لها ميقاتيات خاصة بها داخلية للإشراف، فالإيقاعات الكونية تؤثر على الموجودات الحية، لكن فقط كي تقسر الإيقاعات الطبيعية أن تتقيد بها، بلا ريب، من أجل أن تصطفي أشكال الحياة الأكثر قابلية لأن تُعاش.

ونستطيع أن نتصور تصوراً جيداً للغاية في الواقع أن الحياة تستطيع أن تنظم تلقائياً وفق دارات أو إيقاعات ذات أدوار مختلفة، غير أن الأنواع التي تكون ميقاتياتها الداخلية متوافقة مع أو قريبة بما يكفي من الإيقاعات الفلكية هي وحدها التي كتب لها أن تبقى والتي اصطُفيت في غضون التطور، إنها تمتلك في الواقع حسناً لا يستهان بها في النضال من أجل الحياة. ألا تتيح الإيقاعات العاموية الإنتفاع أفضل انتفاع من توالي الفصول ومن مفعولها على وفرة أو ندرة الغذاء؟ بالطريقة نفسها، يبيح إيقاع ليلي نهاري لليقظة والنوم، لدى بعض الأنواع، نهاية عظمى من النشاط عندما تكون شروط الرؤية على أفضل ما يكون، ويتيح، لدى أنواع أخرى، الإنتفاع من سكون الطرائد الليلي من أجل مباغتتها بشكل أفضل، أخيراً، من الضروري أن تكون دورات التركيب الضوئي على وفاق أو أن تستطيع أن تتكيف مع إيقاعات الضوء الطبيعية: وكل حل آخر، إذا ما كان قد واجهته الطبيعة في غضون التطور، والحالة هذه قد حذف بسرعة.

لا نرى بوضوح ما هي الحسنة الوراثية (الجينية) التي استطاعت أن تدفع الدور الصماوي إلى أن يتوافق مع الدورة القمرية . إن الإيقاعات الصماوية الأنثوية للثدييات الأخرى من غير البشر متنوعة جداً ، وفي النوع البشري ، يختلف دورها كثيراً من امرأة إلى أخرى . والتطابق التقريبي بين هذه الدورة والدورة القمرية يحتمل أن يكون عرضياً . إن عشاق ضوء القمر سوف يفضلون بلا شك أن يستمروا بأن يعتقدوا العكس ، أفلا يحتمل أن يكونوا على صواب !

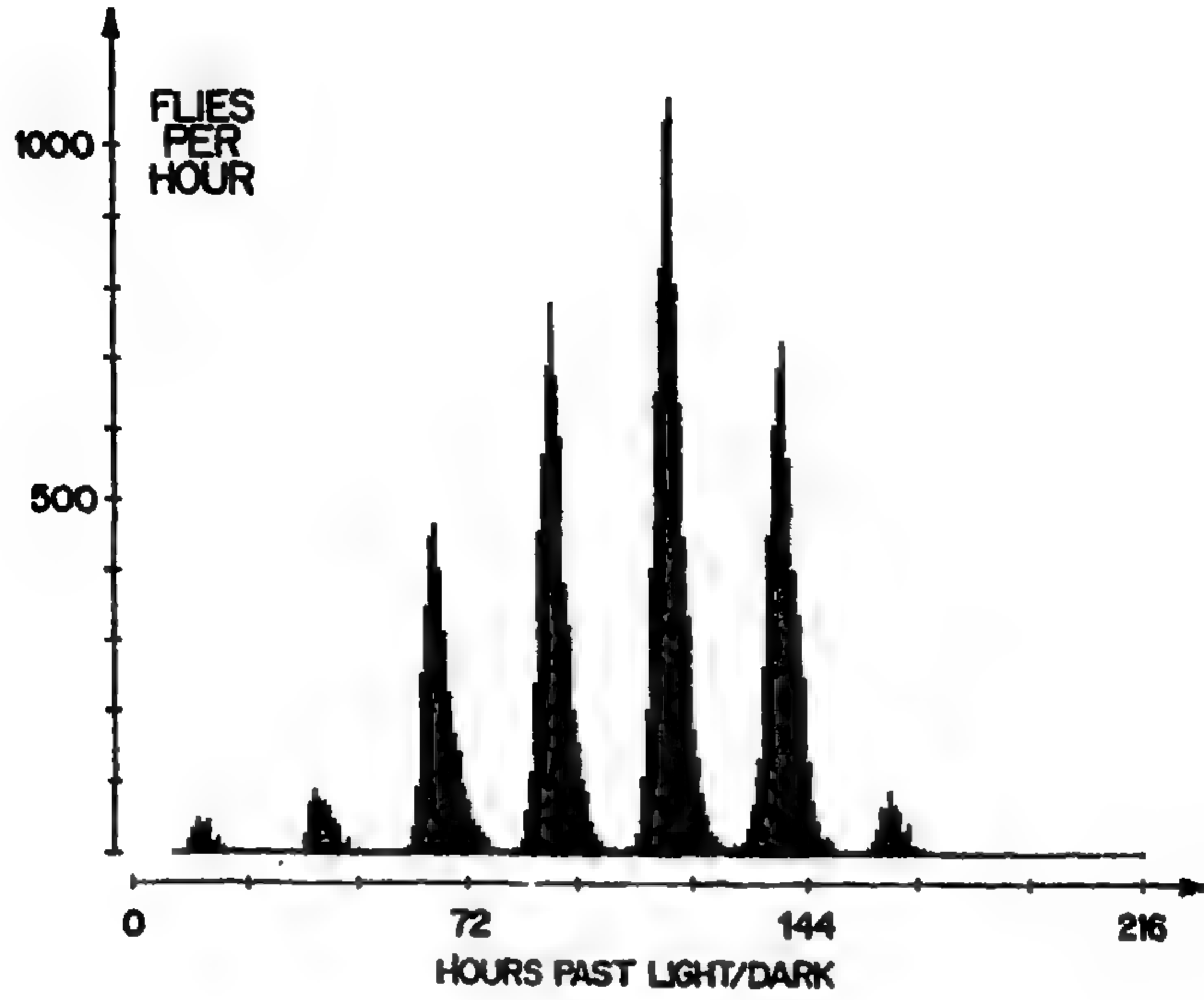
نحو موضعية الميقاتيات الداخلية

لكن أين تكون ميقاتيات الإشراف على الإيقاعات الداخلية للعضوية ، وكيف تعمل ؟ إن ذبابة الخل (droaophile) ، المستعملة كثيراً منذ أيام توماس مورغان من أجل جميع الدراسات المورثاتية (الجينية) ، تؤمن أيضاً نموذج تفضيل من أجل فهم بعض الميقاتيات داخلية المنشأ .

لدى الحشرات ، كان إيقاع تفتح اليرقات قد درس بكثرة . إن يرقات ذباب الخل ، عندما تكون مُربّاة تحت إضاءة ثابتة ، تستحيل إلى حورافات (خادرات) تفتح في أية ساعة كانت ، لا على التعيين على ما يبدو . وتنتج التفتحات بشكل مستمر وغير متلاحم ، خلال وقت طويل ، لكن ما أن تصبح يرقاتنا في لحظة معينة مغمورة كلها معاً في العتمة التامة ، حتى تفتح الخادرات بشكل حزم مفصولة جيداً ، بفواصل زمني قريب جداً من ٢٤ ساعة . بهذا الشكل تبدو الميقاتيات الداخلية لجميع اليرقات قد «عادت مضبوطة» بهذا الإجراء ، في اللحظة المحددة التي نقلت فيها إلى العتمة . فكل شيء يجري ، في تجارب هذا النمط ، كما لو كنت شروط نزوج اليرقات تقارن باستمرار بميقاتية داخلية ، ميقاتية ربما تتغير بشكل دوري ، بحيث تمنح الحشرات «ترخيصات بالخروج» حقيقية .

وشكل ١٤ يجمع نتائج أكثر من مائة تجربة مختلفة تشمل ما يقرب من أربعين ألف تفتح .

لدينا أسباب وجيهة في أن نعتقد بأن الميقاتية الداخلية التي تضبط التفتح لدى



ذباب الخل تقع في دماغها. وبالفعل ، تكون المستقبلات المتحسسة للضوء التي تعين المزامنة مع الإيقاع اليومي موضوعة في هذه المنطقة من الجسم ، والتشوشات التي تلاحظ أحياناً تكون دائماً مرتبطة بطفرات تؤثر على النسيج الدماغي . ويؤمن مثلاً مذهلاً على تشويش كهذا طفرة نوعية لدى ذبابة الخل ميلانو غاستر ، تنجب ذبابات ميقاتيتها الداخلية مضبوطة على دور مدته ١٩ ساعة ، بدلاً من ٢٤ ساعة الإعتيادية . وقد كانت الأرومة الموافقة موضوع تربيّات منهجية . وكل الأنسال تملك ميقاتية دورها القاعدي مدته ١٩ ساعة .

إن هذه الملاحظة تؤكد الأصل العصبي للميقاتية التي تضبط تفتح يرقات ذباب الخل على نمط يوميّ ، بل وتدّل أيضاً على منشئه العميق ، إذ أن طفرة مورثاتية تكون قادرة على أن تؤثر عليه . وتبدو على هذا الحال بطريقة جدّ واضحة فكرة أن الميقاتيات التي تضبط دورات السلوك أو العمل ربما تستطيع أن تكون

مرتبطة بتعبير بعض الجينات (المورثات) . وربما تكون آلياتها مندرجة في كتاب الإرث المورثاتي .

وفي حالة ذابة الخل المحددة، تلقت هذه الفرضية مؤخراً تأكيداً ساطعاً . فالمرث الذي يضبط (ينظم) التصرفات الزمانية لذبابة الخل (التي تشمل على إيقاع تفتحاتها، ودورتها اليوميوية الخاصة بالنشاط وبالسكون، وأيضاً دورية نشيد الذكور) قد تمت موضعيته وتحديد هويته . إن التقنيات الجديدة الخاصة بالمعالجة المورثاتية أتاحت أن تُعرض اصطناعياً طفرة في هذا المرث . وهذه الطفرة تعدل هذه التصرفات وأدوار إيقاعاتها . وتؤكد الدراسة أيضاً فرضية الموضعة الدماغية للميقاتية الرئيسية التي تضبط التصرفات الدورية لهذا الحيوان .

ولا شك في أن ميقاتيات مشابهة توجد أيضاً في دماغنا وتضبط إيقاعات سلوكنا اليومي . والدارات اليوميوية للهرمونات تكون تحت إشراف غدد الدماغ الصماوية ، بخاصة النخامي . فالنخامي يكون منصلاً مباشرة بالوطاء ، الذي هو في الوقت نفسه جزء مكمل من الجملة العصبية المركزية وغدة صماوية . ونعتقد الآن أن ميقاتية رئيسة ، موضوعة في النواة فوق التصالبي للوطاء ، تشرف بالفعل على الإفرازات الهرمونية للنخامي ، والسلوك الغذائي ، وتوالي اليقظة والنوم ، الخ . وربما يكون مع ذلك أمراً مغلوطاً فيه أن نستنج أنه توجد ميقاتية رئيسة وحيدة مسؤولة عن كل الدورات اليوميوية . فالأعضاء نفسها تخضع لدورات يوميوية خاصة (وهذه هي مثلاً حالة الكظر) . فإنتاج السيروتينين في المشاشة يتناقص بشدة في الليل ، لكننا نعلم أن هذه الغدة تكون تحت إشراف تنبيهات خارجية بالطرق البصرية . والميقاتيات اليوميوية ، شأنها شأن أدوار أساسية أخرى ، تبدو عديدة وموزعة في العضوية ؛ بيد أنها تكون متناسقة .



إن تنوع وعدد الدورات التي تضبط (تنظم) حياة عضوية حية لا تتيح أن ندل، بالنسبة لكل وظيفة، على ميقاتية رئيسة خاصة. وتوجد حقاً في معظم الأحيان تآزرية بين مختلف الذبذبات الحيوية، ويمثل الإبقاء على هذه التآزريات بلا شك أحد الشروط الرئيسية للإبقاء على الحياة. هكذا يُعرف، منذ أعمال عالم النفس الألماني هانس بيرجيه، في عام ١٩٢٩، أن النشاط الدماغي يترجم في معظم الأحيان على سوية جلد الرأس لا بشكل انحرافات (تموجات) مضطربة في الكامن الكهربائي، بل موجات منظمة ترى بوضوح على مخطط كهربائية الدماغ. ويكون الإيقاع «ألفا» الذي يلاحظ في حالة اليقظة الهادئة، دون أن يكون الإنباه ملتصقاً بشكل خاص، مميزاً بذبذبات بالجملة في الكامن الكهربائي بتواتر قريب من ١٠ هرتز (١٠ ذبذبات في الثانية). وأصل هذه الأمواج يجب أن يبحث عنه في مزامنة ملايين وملايين العصبونات في طبقات الدماغ العميقة، على الأرجح على سوية الجسم الشبكي، والأمواج من هذا النمط تلعب على ما يحتمل دوراً مهماً في الإدراكات المتتابعة وفي تسلسلها.

نتبين والحالة هذه أن الزمان يسهم إسهاماً وثيقاً في النشاط الدماغي، وأنه يقود الدورات الهرمونية، ويفرض إيقاعات عضوية وفي النهاية يعين إيقاعات السلوك. إنه يؤثر على كل نسيج الفرد الحي، ويسهم في إبقائه قيد الحياة وفي تناسق وظائفه. بيد أن الزمان يوجه أيضاً نماء الفرد، والإعداد التدريجي، انطلاقاً من بيضة بدئية، لموجود بالغ ينتمي إلى نوع معين، بسماته الشكلية الخاصة.

* * *

الفصل الثامن عشر

المراقبة الزمانية للنمو

إن عمارة الراموز المورثاتي لذبابة الخل البسيط نسبياً وسرعة تكاثر هذه الحشرة يجعلان منها نموذجاً ممتازاً بالنسبة للدراسات الموثاتية وللتخلق (أي نمو المضغة). إن اكتشاف المورث «per» (الدور) لدى ذبابة الخل والطفرات التي تؤثر عليها أسهمت إسهاماً كبيراً في إظهار أن السمة الإيقاعية للتفتحات مندرجة في إرث هذا الحيون المورثاتي. لكن أليس للزمن وظائف أخرى مهمة، علاقات أخرى بالراموز المورثاتي وتعبيره في فرد؟ في الواقع لا يجري غناء مضغ الموجودات الحية وحسب في الزمان، لكن الزمان نفسه يقود، بشكل من الأشكال، قدرها النهائي، وقبل مقارنة هذه المسألة، يجدر أولاً أن نصف أو نذكر بإيجاز بقواعد هذا الراموز الأساسية.

المبادئ الأساسية للبرنامج المورثاتي

في حوالي عام ١٩٥٠، كان قد سبق أن عُرف وجود حمض الديوكسي ريبونوكليتيك (ADN)، في نوى الخلايا، وكنا نعلم أنه كان يحتوي على تجميعات مكررة من أربع جزيئات منترجة: الأدينين (A)، التيمين (T)، الغوانين (G) والسيتوزين (C). لكننا كنا لا نزال نجهل أن التسلسل الدقيق لهذه الأسس في الـ ADN كان يشكل الإرث المورثاتي. إن الدراسات الانعراجية بواسطة أشعة X للجزيئات الـ ADN لبعض الفيروسات، التي قادها بخاصة روز اليند فرانكلان وموريس ويلكينز في لندن، والملاحظات الجوهرية التي قام بها في تلك السنة إيرون شارغاف عن المساواة الكلية لفحوها بالأدينين وبالتمين من جهة، وبالفوانين

والسيتوزين من الجهة الأخرى، أتاحت لجامس واستسون وفرانيس كريك، في عام ١٩٥٣، إيضاح البنية الكيميائية الفراغية لهذا الجزيء. ودفعة واحدة أتاحت لهما أن يفهما أيضاً الميكانيكيات التي بها يتنسخ الـ ADN (في غضون الإنقسام الخلوي) ويستعمل من أجل صنع البروتينات.

إن الـ ADN مكون من لولب (حلزون) مزدوج، كل خيط من خيوطه مكون من سلسلة جزيئات من حمض فوسفوري أو ديزوكسيريبوز. هذه الصقالة الخارجية تمنح الـ ADN مقاومة ممتازة (مثلاً، تكون مُحافَظاً عليها في خلايا المومياءات المصرية)، في الوقت الذي تترك له مرونة كافية كي تتيح له أن يلتف على نفسه في الكروموزومات^(١). في كل جذر من الديزوكسيريبوز يكون أيضاً مرتبطاً، نحو داخل اللولب، هذا أو ذاك من الأسس الأربع (A, T, G, C). وكل واحد من هذه الأسس يكون مقترناً بالأساس الذي يواجهه، المرتبط بالجذور السكرية للولب الآخر^(٢). وصورة ممتازة على سلمنا للبنية المجهرية للـ ADN يؤمنها الدرج الحجري الجميل المزدوج اللولبية لقصر شامبور. في الـ ADN، تكون الصقالة الخارجية مكونة بالديزوكسيريبور وبالحمض الفوسفوري، ودرجات الدرج بالأزواج ذات الأساس G - C و A - T.

عند حصول التنسخ الخلوي، يكون الـ ADN مزال الإلتواء ويكون السلكان مفصولين بفعل الأنزيم النوعي، ويدع انفتاح السلكين بادياً تسلسل الأسس الملاصقة لكل سلك، كتسلسل الحروف في الأبجدية ذات الأربع إشارات، ويشكل هذا التسلسل كلمة أو جملة تحتوي على وصفة صنع البروتين المرز في المورث المعبر.

(١) إن كروموزوم، لا يتجاوز طوله واحداً من مائة من المم، يحتوي بسهولة على أكثر من عشر ستيمرات خطية من الـ ADN. ومن المهم أن نلاحظ أيضاً أن الـ ADN بالإضافة إلى التفافه، يكون في معظم الأحيان ملتويًا، على شاكلة خيط منفصل ينزع إلى أن ينطوي على نفسه. وهذا الإلتواء يمنع بشكل طبيعي انفصال خيطي (سلكي) اللولب: في لحظة التنسخ يكون مرتخياً بفضل نشاط انزيم نوعي.

(٢) هذه الخاصية تشرح ملاحظة شارغاف. فالادينين المحمول بسلك اللولب المزدوج يقترن بصورة استثنائية مع التيمين، المحمول بالسلك الآخر، والغوانين مع السيتوزين. وهذه الإقترانات الاستثنائية جعلت ممكنة بواسطة تنامية أشكال هذه الجزيئات، التي تتيح إقامة «جسور هيدروجين» من أحدهما إلى الآخر.

من الـ ADN إلى البروتينات

نعرف أيضاً كيف يتم واقعياً هذا الصنع . يوجد أولاً طور انتساخ . وبعد فتح وفصل سلكي اللولب ، يكون تسلسل الأسس المرمزة بالنسبة لبروتين («مورثة») معرضاً للوسط الخارجي . ويأتي حينذاك ليلتصق على كل أساس من الأسس ، أساس متمم ، بحيث يحصل بالتدريج تشكيل نسخة «سلبية» للمورث الأصلي ؛ والجزيء المقابل أو الحمض الريبونيكلي الرسول (ARN) ينفصل عن حامله ويهاجر نحو «الريبوزومات» ، وهي مصانع معالجة من الباطن موزعة في الخلية . حينذاك يبدأ طور الترجمة . والريبوزومات لا تتلقى وحسب الـ ADN الرسل ، بل وأيضاً جزيئات أخرى منخصصة من الحموض النووية (الـ ADN الناقلة) التي يرتبط بها جزيئات الحموض الأمينية ، التي هي لبنات حقيقية صنعت منها البروتينات . وفي الريبوزومات ، كل زمرة من ثلاثة أسس مُترجة يقدمها الـ ADN الرسول تحرض انضمام حمض أميني خاص إلى البروتيني الوليد . على هذا الحال كل زمرة من ثلاثة حروف من الأبجدية النووية تكون «مترجمة» بحرف من الأبجدية البروتينية ، المكونة من الأنماط المختلفة العشرين من الحموض الأمينية .

يجب أن نلاحظ بالمناسبة عنصراً مفتاحياً في الزمانية المورثاتية : من أجل أن يستطيع مورث أن يتوضح ويستطيع جزيء بروتيني أن يكون مصنعاً ، يلزم أولاً أن تكون قطعة الـ ADN المقابلة مزالة الإلتواء وأن يكون سلكا الـ ADN مفصولين . وتكون هذه العمليات تحت إشراف انزيمات نوعية ، هي نفسها مؤلفة بدءاً من تعليمات مورثاتية : كما لو كانت طريقة قراءة كتاب ضخمة ، تجب قراءته بنوبة غير تسلسلية ، توجد هي ذاتها مندرجة في جزء من أجزاء المؤلف ، في المدخل مثلاً ، ففتح وغلق مختلف الفصول يكونان مقادين بمجموعة من المورثات المنظمة ، يكون تناغمها الزماني الوثيق أساسياً .

جينات (مورثات) النماء

إن النجاح الكبير الذي صادفه نموذج ذبابة الخل من أجل أن تقام ، في مطلع

هذا القرن ، أسس علم المورثات الحديث . بخاصة فيما يتعلق بالطفرات المورثاتية .
لم يلق ما ينفيه عندما كان المراد ، في هذه الأعوام الأخيرة ، أن يستكشف كليا أكثر
الراموز المورثاتي في بعده الزماني ، بصورة خاصة دوره في التفريق الخلوي
والتخلق .

وبفضل هذه الدراسات ، نعلم الآن أنه يوجد فعلاً ، في العضوية ، جينات
(مورثات) نماء تشرف وتنشط أو تنشط على مراحل مختلفة من النمء تعبير جينات
أخرى تصنع البروتينات البنيوية أو غيرها . وفي المضغة ، هذا الإشراف الزماني
للتعبير المورثاتي يحدد الأنسال ، أي التي توجه قدر خلف الخلايا نحو تشكيل نسج
نوعية للأعضاء . وبفضل مورثات النمء ينطلق تعبير مورثات أخرى ، ثم يكظم في
بعض الأدوار المعينة جيداً من التكون الفردي .

ونميز ، لدى الحشرات ، ثلاثة أنماط من مورثات النمء : المورثات ذات
المفعول الأمومي ، ومورثات التقطع وأخيراً المورثات المثلية التي سوف يجري
الحديث عنها بخاصة .

ونميز ، لدى الحشرات ، ثلاثة أنماط من مورثات النمء : المورثات ذات
المفعول الأمومي ، ومورثات التقطع وأخيراً المورثات المثلية التي سوف يجري
الحديث عنها بخاصة .

إن المورثات ذات المفعول الأمومي ، الحاضرة في البيضة قبل الإلقاح ، تعين
توجهاً عاماً لها ، «تقاطبها» . وقد أوضح دور هذه المورثات بملاحظة الطفرات التي
تقود إلى مسوخ تمتلك رأسين متلاصقين ، دون جزء خلفي ، أو بطنين بلا رأس ،
وتلاحظ هذه الطفرات عندما يكون التقاطب قد دمر أو يكون تعبير المورثات الذي
يعينه قد منع في البداية من النمء .

ومورثات التقطيع تعين ، منذ ظهورها اليرقي ، لدى الحيوانات ، ظهور عدد
معين من القطع . فلدى ذبابة الخل مثلاً ، تظهر القطع الفكّية السفلية ، والفكّية
العلوية ، والشفوية التي تشكل الرأس ، ومقدم الصدر ، وأوسط الصدر ، وتالي

الصدر التي تشكل الصدر، وأخيراً القطع البطنية الشمان. وبعض الطفرات التي تؤثر على المورثات التقطيعية تترجم بحذف بعض القطع.

أخيراً، يكون الصنف الثالث من مورثات النماء مكوناً من المورثات المثلية، التي تحدد طبيعة كل قطعة من هذه القطع. ويأتي إسم هذه المورثات بالتدقيق من حيث أن الطفرات التي تؤثر عليها تقود إلى ظهور قطع أخرى (homo - eo) في قطعة من أعضاء أو نسيج نوعية بشكل طبيعي. وللطفرات التي تؤثر على هذه المورثات عواقب ملفقة للإنتباه لأنها تنجب مسوخاً تملك مثلاً قوائم زائدة في موضع الجسم الذي تنبت فيه بشكل طبيعي قرون هذا الحيوان الإستشعارية.

لدى ذبابة الخل، كان قد درس بخاصة معقدان مورثاتيان مثليان: معقد Antennapedia (Ant-c) ومعقد Bithorax (BX-C). هذان المعقدان موضعان على الذراع اليمنى للكر وموزوم الثالث للحشرة. وتعين الطفرات التي تؤثر على هذه المورثات تفريقاً غير سوي للرأس أو للقطع الأمامية (إذا كان الأمر يتعلق بطفرات تؤثر على ANT - C، أو للقطع الصدرية أو البطنية (إذا أثرت على المعقد BX-C). وقد كان ممكناً، بواسطة تقنيات المعالجة المورثاتية، تحريض ظهور طافرات تملك مورثات Antp+، مع محضض خاص نستطيع أن ننشطه بصدمة حرارية. وإذا لم يكن المحضض قد نشط (فُعِّل)، فإن اليرقات التي تملك هذا المجين تنجب ذباباً سويًا في حالة اليلوغ. لكن إذا طبقنا على اليرقات، في مرحلة بدائية من نمائها، صدمة حرارية تفعل المحضض، فحينذاك تكون البروتينات المقابلة للمورث Antp منتجة بشكل زائد. وسوف تحمل الحيوانات البالغة حينذاك أقداماً في مكان الأنتينات: والزائدة المميزة لقطعة خلفية سوف تكون قد حلت محل القطعة التي تميز قطعة أمامية.

إن المورثات المثلية لذبابة الخل تعين والحالة هذه جيداً عمارة الحيوان البالغ. ونفهم من الآن وصاعداً، كيف أن طفرة وحيدة، تتناول مورثات من هذا النمط،



تستطيع أن تخضع إعادة تنظيم كبيرة للجسم . والحق يقال ، كان قد سبق أن أصبحنا نعرف طفرات لبعض الرخويات ، تنطوي قواقعها في اتجاه معاكس للإتجاه الإعتيادي . وقد أخبر أيضاً عن وجود طفرة لدى البشر ، تدعى *situs in versus* مواضع مقلوبة ، تسبب قلباً تاماً للتناظر يمين - يسار : فالقلب يكون موضوعاً إلى اليمين والكبد إلى اليسار ، وتلتف الأمعاء في اتجاه معاكس للإتجاه الإعتيادي ، الخ . لكننا لا نصادف لدى الإنسان طفرات عضوية كبرى (كظهور ساق في مواضع وأماكن ذراع) ربما سوف تكون مشابهة للطفرات التي تؤثر على المورثات المثلية لدى ذبابة الخل : إن مخطط تنظيم العضويات العليا لا يتبع على ما يحتمل ، في غضون الحياة المضغية ، تخطيطة التقطيع التي شوهدت لدى الحشرات .

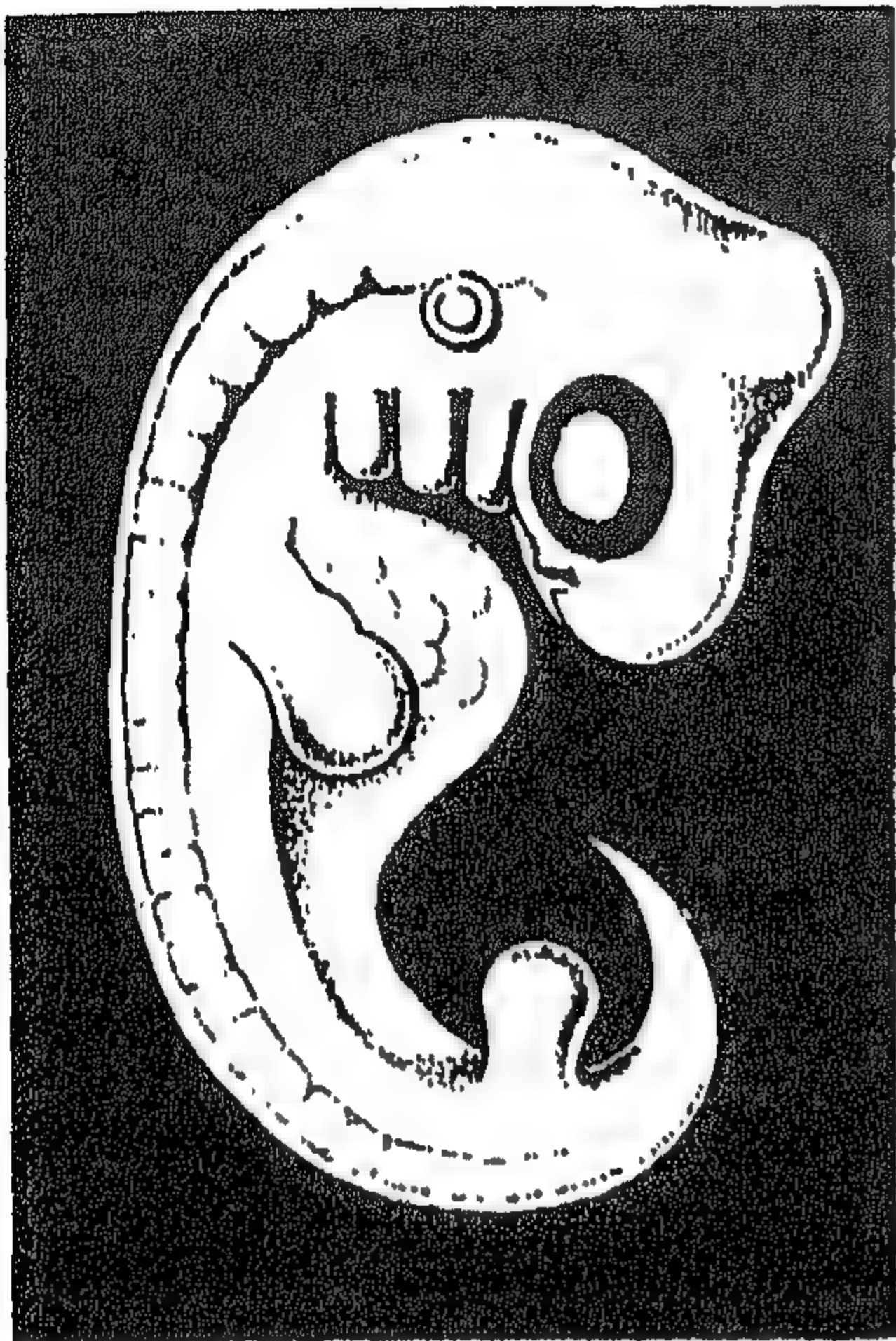
بنية المورثات المثلية

يظهر إنشاء الخارطة الجزيئية للمورثات المثلية أن هذه المورثات تتعلق بتسلسلات ADN قصيرة (قطع مفتاحية) ، نثر عليها بعينها أو بالتقريب في عدة مناطق من المعقدتين ANT - C و BX-C . هذه القطع التي تشتمل على حوالي ١٨٠ أساس نووي ، تحتوي راموز صنع بروتين وحموضها الأمينية الستين . وقد تلقت هذه القطع اسم «العلب المثلية *homeoboites*» . وهي المنظمات المكان زمانية

للتعبير الوراثي ، مع أن ميكانيكية عملها لا تكون بعد مفهومه جيداً . ويُعتقد أنها تقود تركيب البروتينات التي تعين أو تمنع ، وهي تتحد مع بعض أجزاء الـ ADN ، تنفيذ البرامج المقابلة لهذه الأجزاء ، وفق تخطيطه الإشراف العامة للتعبير الوراثي التي اكتشفها جاك مونو وعرفت بعدئذ باسم المشاغل operons .

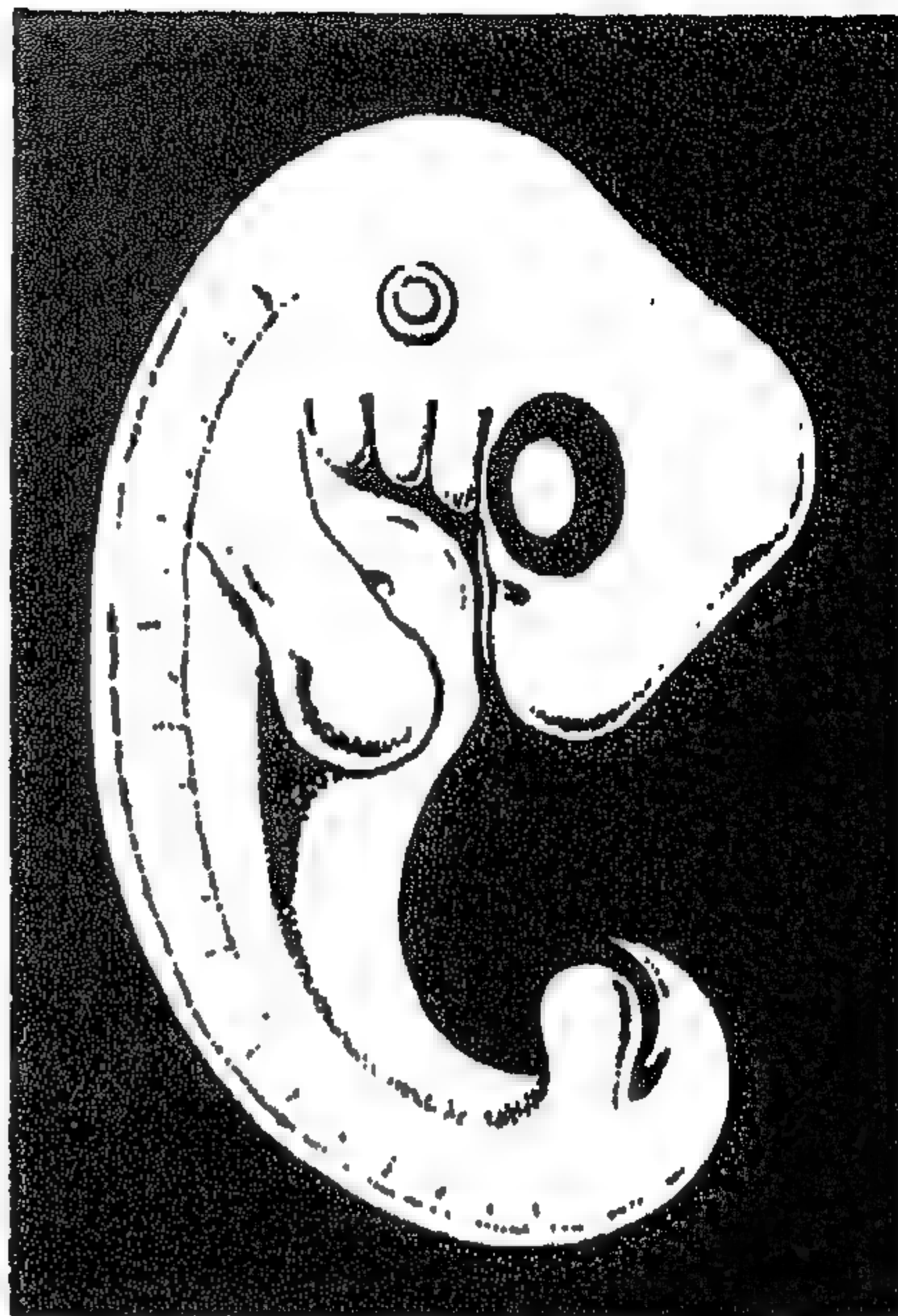
إن وولتر جيهرنغ ومساعدوه ، لا رتيا بهم بأن العلب المثلية بإمكانها أن تكون قطعاً مفتاحية (رئيسية) من المراقبة الزمانية للتعبير المورثاتي ، سعوا لتحديد ما إذا كانت متتاليات مماثلة أو قريبة من العلب المثلية مكتشفة لدى ذبابة الخل غير موجودة لدى أنواع أخرى . وقد بُدِيَء بناء على ذلك بكل منطقية بالبحث لدى حشرات أخرى ولدى بعض الديدان المعتبرة على أنها أسلاف للحشرات ، وبعدئذ لدى بعض الفقاريات . باغت الباحثين ، أن اكتشفوا أن العلب المثلية كانت توجد أيضاً لدى الضفدعيات ، بدرجة مشابهة مذهلة بالنسبة لعلب ذبابة الخل المثلية : ٥٩ من ٦٠ حمض أميني من البروتين المرز بهذه العلب المثلية تكون متماثلة وفي الموضع نفسه لدى النوعين ! وقد اكتشفت أيضاً مورثات مشابهة لدى الفأر ، وأخيراً لدى الإنسان . وقد حقق ، في عام ١٩٨٨ ، التحليل التام لـ ٢٩ علبة مثلية مختلفة ، توجد عشرة منها لدى ذبابة الخل و ١٩ لدى أنواع أخرى . إن علبة المورث Antp المثلية لذبابة الخل وتلك التي يُدل عليها بـ C1 لدى الإنسان ذات درجة تماثل تبلغ ٨٦٪ على سوية متوالية القواعد النواتية ، و ٩٨٪ (٦٠ / ٥٩) على سوية البروتين . ويوحى هذا التشابه بأن العلب المثلية تلعب دوراً مهماً بما يكفي من أجل أن تكون قد حفظت عملياً دون تعديل في غضون التطور كله . إن جميع العلب المثلية التي تحدثنا عنها حتى الآن تتعلق بالأنواع ذات الأجسام المتقطعة إلى أجزاء متماثلة (ولدى الفقاريات ، يمكن أن تتقابل هذه القطع مع الفقرات) ، بيد أننا اكتشفنا مؤخراً علبة مثلية لدى نوع توتياء بحر ، لا تبدي عضويتها أي تقطيع ظاهر . ويمكن والحالة هذه أن يكون للعلب المثلية . في المراقبة الزمنية للتعبير المورثاتي والتخلق (التكون التشكيلي) ، دور أعم من تحديد مصير مختلف قطع الجسم . ومع أن جميع البدايات الملتزمة ما زالت لم تجمع بعد ، يبدو أن العلب المثلية

TORTUE

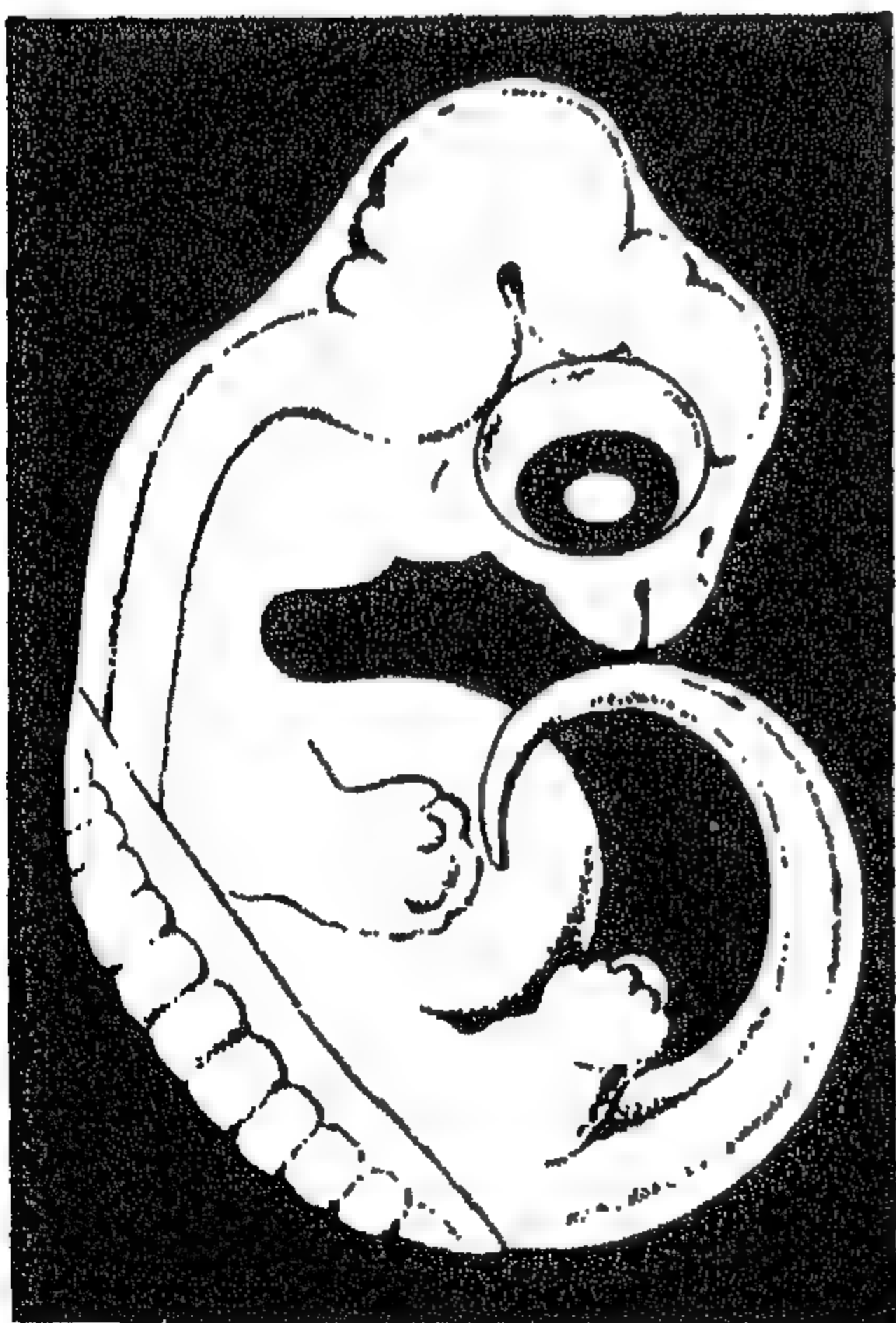


4^{ème} semaine

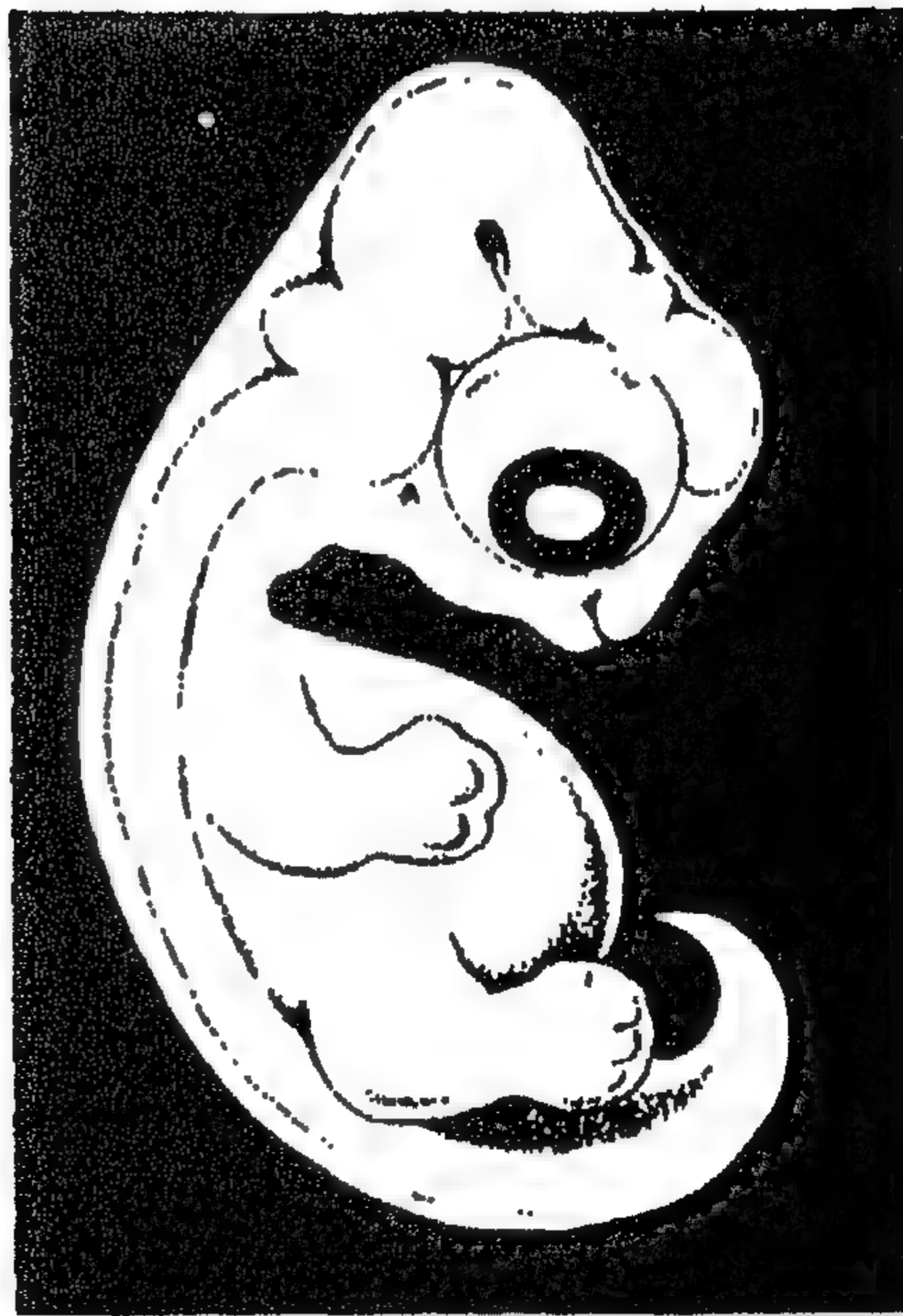
POULE



4^{ème} jour

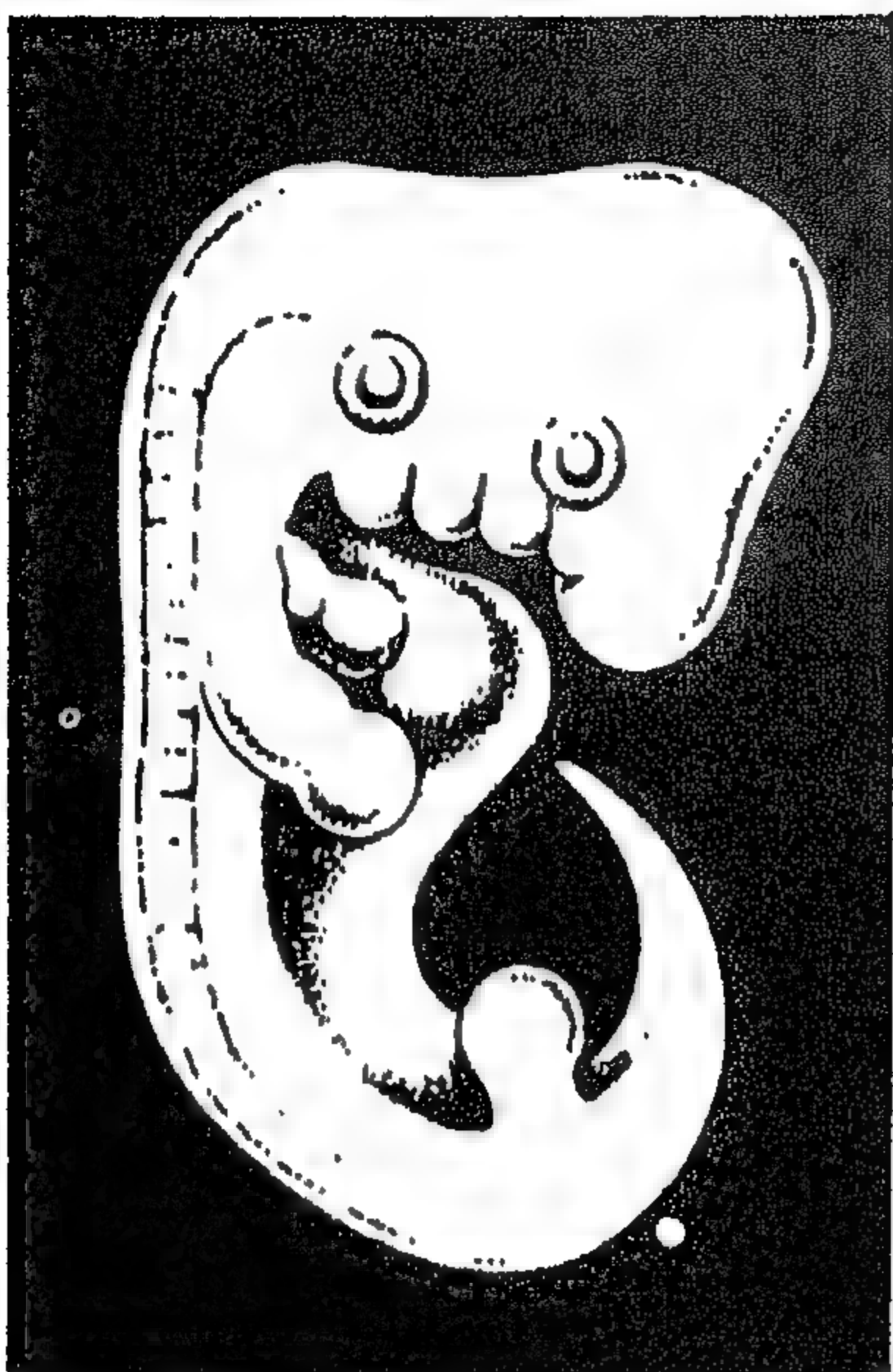


6^{ème} semaine



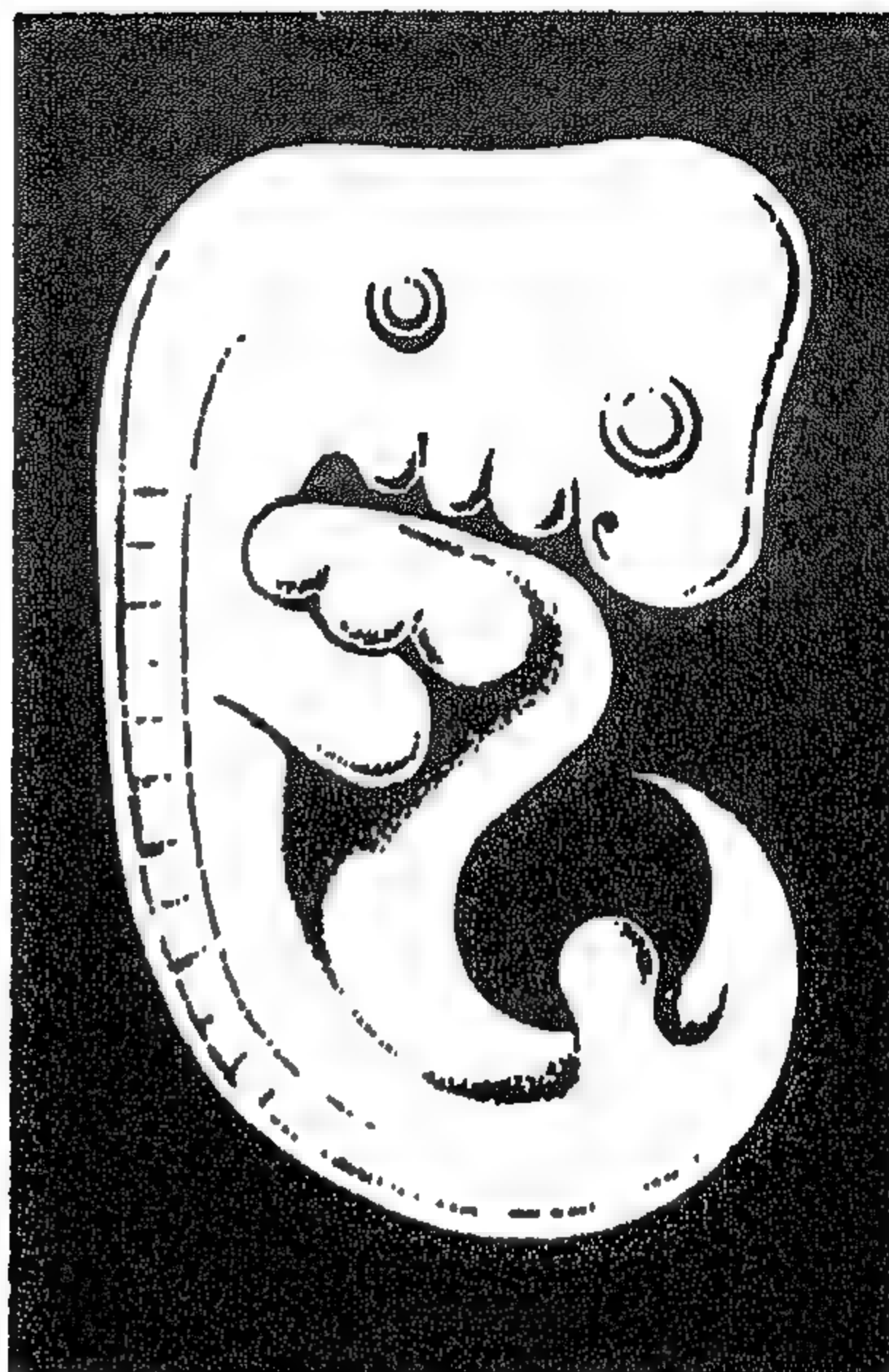
8^{ème} jour

CHIEN

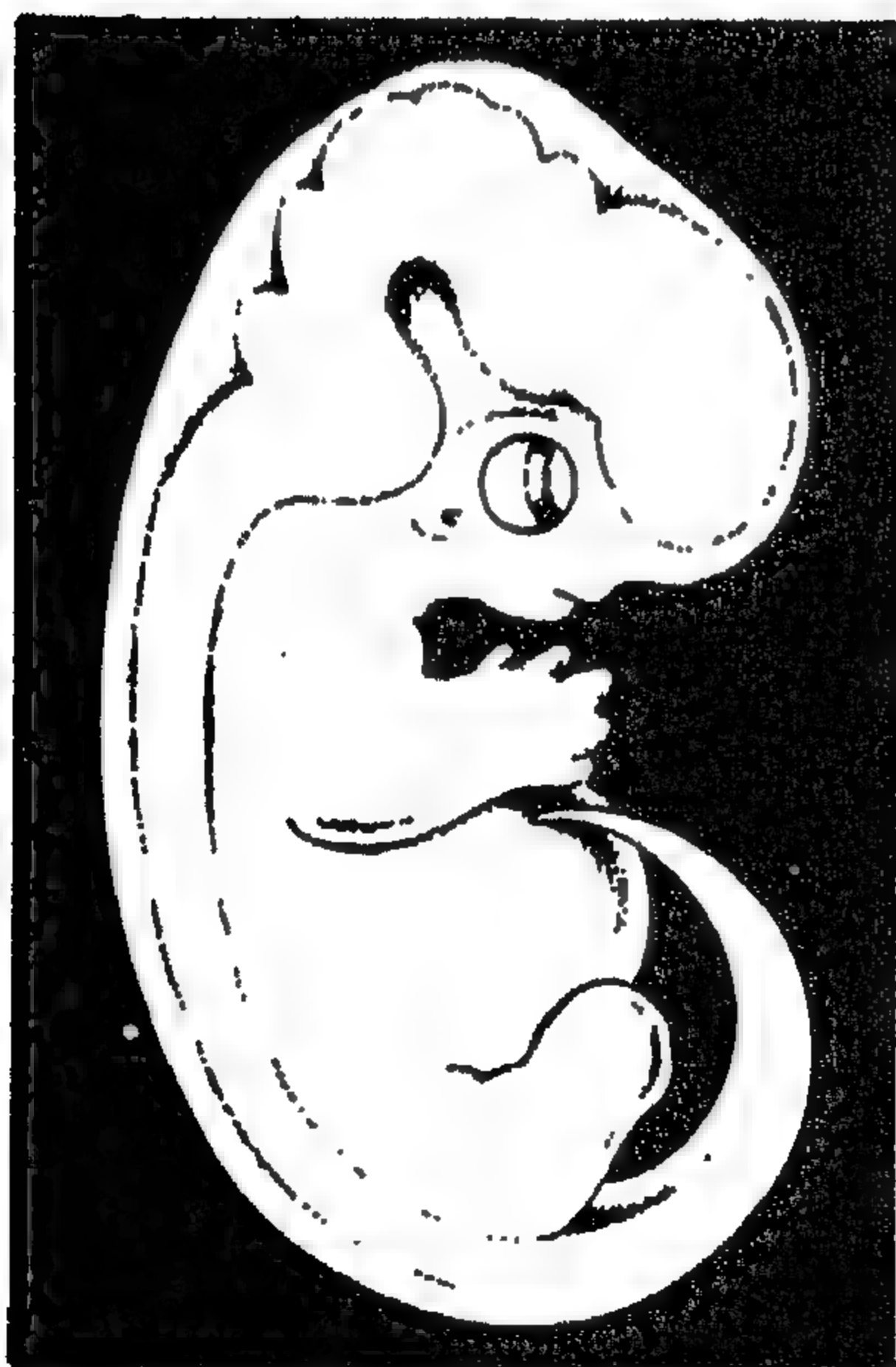


4^{ème} semaine

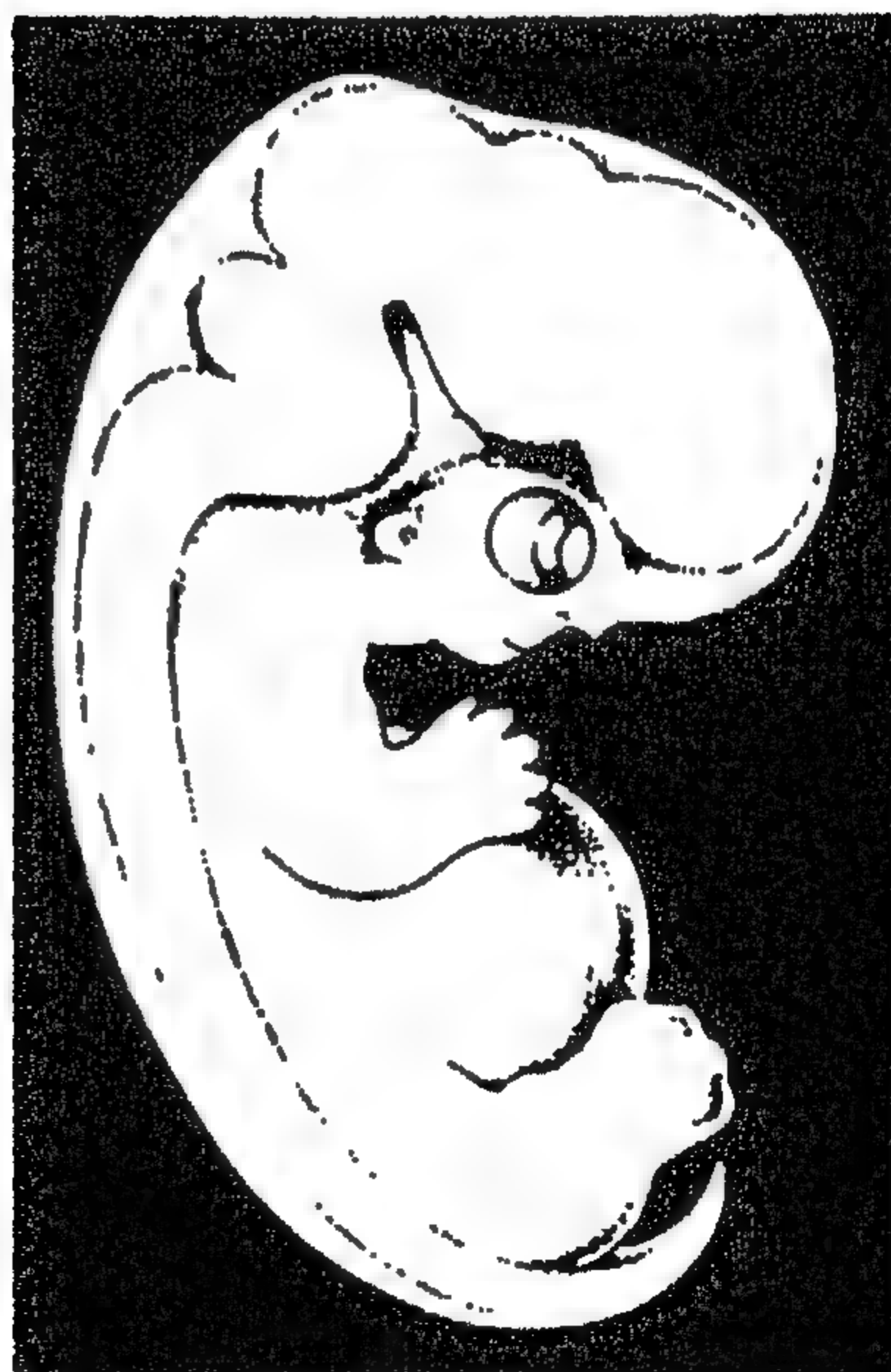
HOMME



4^{ème} semaine



6^{ème} semaine



8^{ème} semaine

تلعب بالفعل دور مراقبة في ثماء العضوية ، وبخاصة في تخصيص الخطة المعمارية للعضوية . إن اكتشاف مثل هذه التنظيمات الزمانية جوهري ؛ وسوف يتيح بلا شك فهم لماذا تعرف مختلف الأنواع ، مع وجود إرث مورثاتي قاعدي متماثل تقريباً ومضع تشابهها مرموق ، مصيراً مختلفاً إلى هذا الحد . إن البرنامج الزمني يملئ ، بفعل لعب تشبيطات وتفعيلات (تنشيطات) للمورثات ، على الخلية النواتج التي يجب أن تصنع ، والعُضويات التي يجب بناؤها ، والتخصصات التي يجب اكتسابها . إنه يوجه والحالة هذه تفريق الخلايا ومناوعة الأنواع ، التي يبدو أن لموادها القاعدية المضغية ، في الأصل ، تعدداً تكافئياً كبيراً .

تشابه المضع الكلي

إن غياب المناوعة البدئية للخلية الحية سبق أن لوحظ ، في القرن الماضي ، لاحظة مخترع نظرية التلخيص ، إرنست هايكيل ، وينقل الشكل ١٦ الرسم الذي نشره في عام ١٨٧٤ ، والذي يقارن المشهد الشكليائي لمضع أنواع بمثل تنوع الدجاجة والكلب والسلحفاة والإنسان ، في مراحل متوسطة من تناميها .

على هذا الحال ، بدءاً من الصلصال الأصلي للبيضة ، يقود البرنامج الزمني ، ووحده يقود ، مختلف التوجيهات التي تقود المضغة نحو الشكل النهائي والنوعي للنوع . وهذه القاعدة ليست وحسب صحيحة بالنسبة للأنواع الدنيا ؛ إذ يبدو أنها تنطبق أيضاً على الإنسان وعلى الثدييات العليا . ولدى البشر ، تكون البروتينات التي يصنعها مختلف الأفراد هي عينها ، باختلافات جد يسيرة . والتغيرية الملاحظة تكون عملياً كبيرة بين الأفراد من عروق مختلفة بقدر ما تكون كبيرة بين أفراد من عرق بعينه ؛ وهذا التحقق يؤسس مناقضة معظم البيولوجيين المعاصرين لفكرة العرقية البيولوجية عينها ، يضاف إلى ذلك ، أن ٩٩٪ من البروتينات التي يصنعها الشامبونزي ، أو الغوريلا ، هي عين البروتينات التي تصنعها الخلايا البشرية . وبشكل أكثر دقة ، يصدد عينة من ٤٤ بروتين متماثلة حللها باحثون أميركيون ، انصبت اختلافات الصيغة الملاحظة في متواليات الحموض الأمينية على أقل من ١٪ من هذه الحموض . صحيح أن اختلافاً صغيراً في الصيغة

الكيمائية لبروتين يمكن أن تفضي إلى تغييرات كبيرة في عمله، إذا كان هذا الاختلاف ينصب على قطعة مفتاحية (رئيسية) من الجزيء الكبري. مع ذلك نلاحظ، بالنسبة لمعظم البروتينات المحللة، تقريباً عدم وجود أي فرق في نشاطها الكيمائي النوعي. حتى أن سلاسل الهيموغلوبين ألفا وبيتا، مثلاً متماثلة تماماً مطلقاً لدى هذه القروود الكبيرة ولدى الإنسان.

تنوع الحي

كل هذه الملاحظات تحملنا على استخلاص أن الجنس البشري لا يتميز بشكل رئيسي عن الرئيسات الأخرى بالمحتوى الاستعلامي للرموز المورثاتي أو بالتركيب الكيمائي للمكونات الخلوية. إنه يتميز عنها بالبرنامج الزمني الذي يضبط تعبير الرموز الوراثي، الذي يتيح بخاصة التعقد المرموق للجملة العصبية المركزية لمثلي النوع البشري، في لحظة حرجية من تناميهم.

ندرك بهذا الشكل بأن المحتوى الخام للرموز الوراثي، أو عدد حروفه ذات المدلول، لا يكفي لتحديد الدرجة التعقيدية للعضوية التي يجب بناؤها. ومثال الضفدع، الذي يكون سجله الوراثي أطول مائة مرة من سجل الإنسان، يكفي لإظهار ذلك. في الواقع يوجد في ADN الضفدع كما لدى الإنسان. لكن أكثر أيضاً لدى الضفدع. أعداد لا تحصى من التكرارات ومن المتواليات الطويلة الخرساء التي تمد كثيراً الإرث الوراثي (الجيني). وقد تساءل جان-بيير شانجو بحق: كيف ربما يستطيع راموز وراثي يحتوي على ما يحتمل مليون حرف ذات دلالات أصيلة أن يرمز من أجل آلاف مليارات المشابك (التماسات بين الخلايا العصبية) المتوزعة في الجسم البشري كله؟ زلم يكن بيولوجيو الجزيئات للأعوام ١٩٦٠ أو ١٩٧٠ قد أفرطوا في تقدير قدرة الكتابة؟ ألم يكونوا قد أهملوا، خلافاً لذلك، بعداً للحي معينا، ربما سوف تسول لنا نفسنا بأن ندعوه بعد الحي الرابع، مع أنه لا يتفلس إلى الزمن الفيزيائي؟

*
* *

في الفصل السابق ، سبق أن كان قد أوحى بسلطان الزمان على الحي كل الإيقاعات والدورات التي لم نفعل سوى أن نستشف عددها واستطاعتها . وقد أضفنا للتو القدرة التي تمارسها في تكون الفرد وفي تفريق الأنواع . في كل الأحوال ، يتجلى الزمان في الوجود الحي بشكل عدد وافر من الميقاتيات الداخلية تقود في الوقت نفسه قدر الوجود وبقائه . ربما يبقى علينا أن نظهر كم يتعلق تنسيق عضوية ، في نمائها كما في عملها العادي ، بالتنسيق بين هذه الميقاتيات المتعددة . على هذا المستوى لا يزال البحث البيولوجي في خطواته الأولى . وتستلزم مزامنة الميقاتيات التي لا تخص ذات الأدوار التلقائية المتنوعة والتي نشته وحسب بوجودها ، والموزعة في مجموع الجسم البشري ، ميكانيكيات مراقبة بالغة الدقة . إنها على ما يحتمل تشكل عقدة الحي ، بمقدار ما يكون هذا التآمر ، وهذا التآمر وحده ، يتيح إبقاء أفراد أحياء ، وحتى زمر ، أليس عدد من السرطانات معزوة إلى خلل في الميكانيكية الدقيقة للمراقبة الزمانية للتعبير الوراثي ، خلل يتيح التكاثر الفوضوي لبعض أنماط الخلايا في أوقات أخرى غير تلك التي تكون متوقعة في خطة النماء المضيفي ؟ وقد تلقت المورثات المقابلة ، التي يحدد تعبيرها الزمني المختل ظهور التكاثر الخبيث ، اسم مكون الورم . إن دراستها عرفت تنامياً مدهشاً في هذه السنوات الأخيرة إلى حد أنه قد كُتب أن «الكثير من السرطانات ، وجميع السرطانات البشرية على ما يحتمل ، مرتبطة في منطلقها بطفرات وراثية» ؟ والموت عينه سوف يشرح ذات يوم بطريقة أكثر وضوحاً ومقنعة بعيارات سوء عمل هذه الميقاتيات أو هذه المزامنات ، بدلاً من أن يشرح بعبارات تراكم أخطاء وراثية (جينية) ، نفايات يحلولية وتنكسات خلوية .

* * *

الفصل التاسع عشر

زمان الدماغ و زمان الفكر

إن الدماغ ، شأنه شأن كل الأعضاء ، يستهلك أوكسجين وسكر . إنه مثلها ، يكون مقر نشاطات إيقاعية . بيد أن الدماغ هو أيضاً عضو «منطقي» شبيه بالوحدة المنطقية لناظمة الية *ordinateur* . ووظيفته هي أن «يحسب» ، أي أن يتلقى ، ثم يحول المعلومات الحواسية إلى أفعال . ونستطيع أن نتوقع أن تكون هذه الوظيفة تتطلب ميكانيكيات جديدة للتنسيق الزماني . أخيراً ، إن الدماغ يكون أيضاً معتبراً على أنه الحامل المادي للفكر . وحدث المدة المعاشة ، الذي يميز الفكر ، يُلَفَى على ما يحتمل مكيّفًا بميكانيكيات زمانية عصبونية من نمط خاص . وإنه لأمر مشروع أن نتساءل بخصوص العلاقات بين زمان الدماغ ، المنظور إليه من جوانبه الفيزيولوجية والوظيفية ، و زمان الفكر ، باعتباره مسقطاً واعياً وتوقعاً من جانب الإرادة لأعمال مرتقبة . إن العلوم العصبية تحاول وصف الميكانيكيات المولدة لهذه الإيقاعات الخاصة ، وأن تدرس تمفصلاتها وتنظيمها كشبكات ، وتأمل في أن تستطيع ذات يوم أن تجيب على التساؤلات حول علاقاتها بالزمان الفيزيولوجي .

يفرضُ التواضعُ نفسَه هنا . فالعلوم العصبية ، التي هي علوم حديثة العهد ، لا تزال في أوج التطور . والتأخر النسبي الذي تعاني منه يعلل جزئياً بالإحتراس الذي كان الموضوع ذاته يوحيه لباحثي القرون الماضية لأسباب فلسفية ودينية . وفي وقت أكثر حداثة ، علل أيضاً بالتأثير القوي جداً لتقنية الناظمت الآلية ، التي استطاعت نجاحاتها - والآمال المفرطة التي كان جزء معين من المجتمع يعلقها عليها - أن تقنّع الطبيعة الأصلية للمنظومات المفكرة البيولوجية . بيد أن العلوم العصبية

تتقدم اليوم بسرعة . والأجوبة المعطاة حالياً ليست إلا فرضيات ، تأتي في بعض الأحيان لمساندتها ملاحظات لا تزال مجزأة .

تنامي العلوم العصبية

كانت الدراسات المعمقة الأولى عن الدماغ عمل علماء نسيج واختصاصي فيزيولوجيا نهاية القرن الماضي . وقد أظهرت ملاحظات رامون إي كاجال المجهرية المدققة أن الجملة العصبية مكونة من خلايا فردية ، مفصولة بعضها عن البعض الآخر : ولا تشكل شبكة مستمرة كما كان يُعتقد قبلاً . وقد تبنى التعبير «عصبون» ، المستعمل من أجل الدلالة على هذه الخلايا الفردية ، (ويلهيم وولديير) في عام ١٨٩١ ، وتعبير «المشبك» من أجل الدلالة على مناطق التماس بين عصبونين متعاقبين متضمنين في نقل التنبيه العصبي ، اقترحه (شارل شيرينغتون) في عام ١٨٩٧ . مع ذلك ولدت غالبية الأفكار الرئيسة للعلوم العصبية الراهنة بعد الحرب العالمية الثانية : لدونة المشايك كعنصر يشرح ميكانيكيات الذاكرة (دونالد هيب في عام ١٩٤٩) ؛ ميكانيكيات إنتشار كامنات العمل في الألياف العصبية (آلان هو دغكين وأندرو هكسلي في عتام ١٩٥٢) ؛ وجود ناقلات عصبية ، جزيئات كيماوية محررة في المكان ما بين المشابك بواسطة نهايات الخلايا العصبية الخاضعة لكامنات عمل والمسؤولة عن نقل التنبيه العصبي (بدءاً من عام ١٩٤١) ؛ وجود مشابك مشبطة ، قابلة لا لنقل التنبيه العصبي من عصيون إلى آخر بل على العكس لأن توقف تشكل كامن عمل في الخلية السافلة ، عندما تكون الخلية العالية نشيطة (درس ذلك جون إيكليس بين عامي ١٩٣٠ و ١٩٥٠) ؛ وجود أعمدة قائمة من القشرة وأجوبة القشرة البصرية النوعية (دافيد هويل وتورستن ثييزل ، في عام ١٩٦٢) .

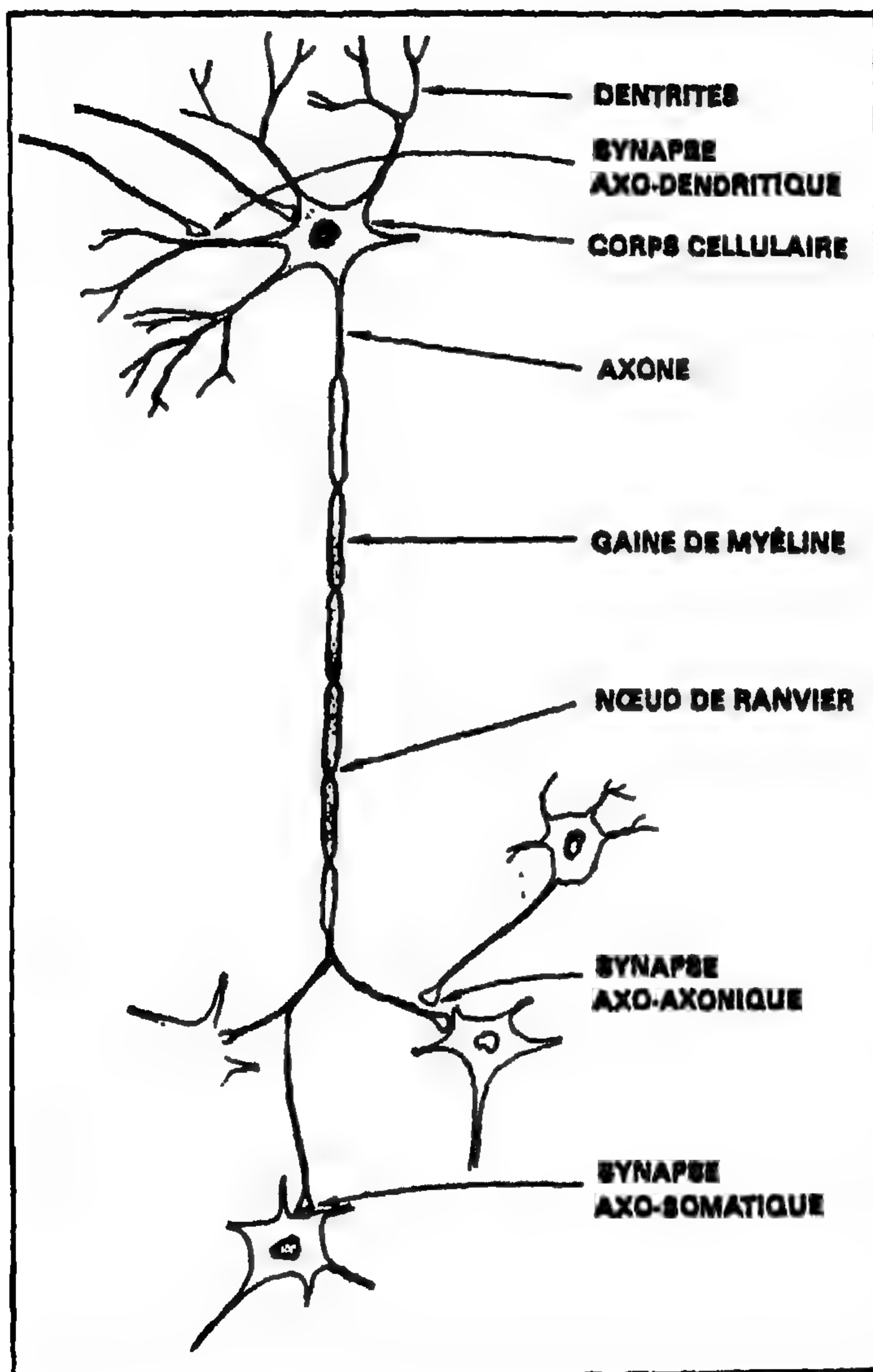
بينما كانت تقنيات وسم الخلايا العصبية تتحسن ، كانت الدراسات التشريحية تتطور ، محررة تفاصيل عن الوصائل العصبونية بخاصة في الجملة البصرية ، والقشرة المحركة ، والمخيخ (المكلف على الأخص في عملية الترسيخ في الذاكرة) . وقد كانت المناهج الاليكتروفيزيولوجية تتيح الحصول على معلومات عن

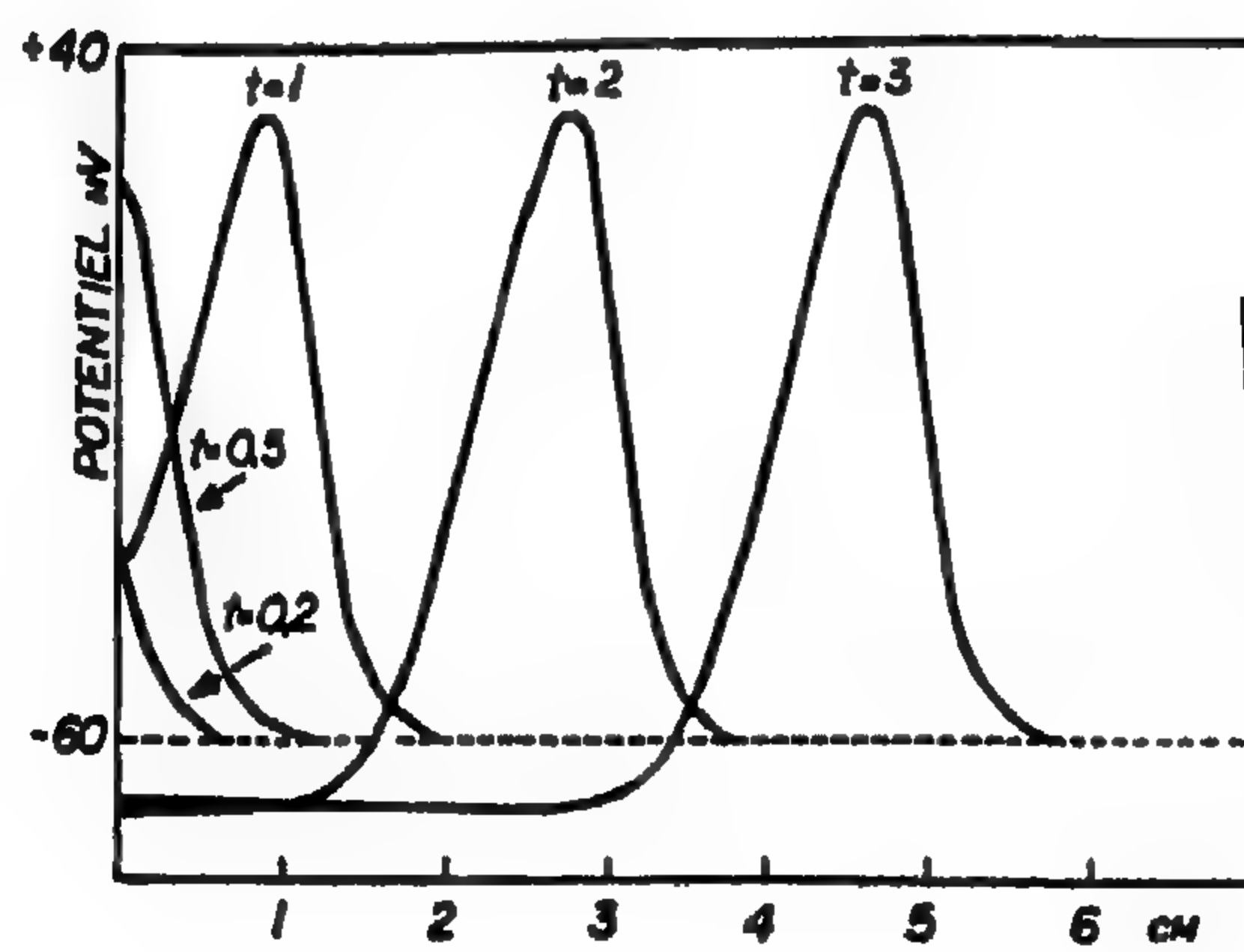
انتشار التنبيه العصبي ، ونقله نحو الأهداف الخاصة ، وتدعيمه أو تثبيطه المتبادل مع التنبيه العصبي المنقول بعصبون مجاور . ونستكشف ، منذ عدة سنوات ، لا الأجوبة العصبونية الفردية وحسب ، بل نسعى لأن نقارن في الزمان أجوبة مجموعة عصبونات ذات وظائف متماثلة ، بخاصة من أجل دراسة خواصها الزمانية . أخيراً لقد اكتسبت تقدمات كثيرة في الدراسة الجزيئية للقنوات الشاردية لغشاء العصبونات الخلوي . وهي تجعلنا من الآن فصاعداً نتصور العصبون على أنه مقر نشاطات كيميائية وكهربائية عظيمة التنوع ، بثوابت زمانية تتراوح ما بين ميكروثانية وثانية وزيادة .

نشاطات إيقاعية في العصبونات

إن الخلايا العصبية إذا ما أخذت افرادياً تكون بحد ذاتها أمثلة نموذجية لمنظومات تيرموديناميكية مفتوحة ، تتبادل بأغشيتها وبمشابكها ، الشوارد والجزيئات^(١) التي تجسد التبادلات الطاقية والمادية مع البيئة . هذه المنظومات التيرموديناميكية المفتوحة تكون مقراً لظواهر متغيرة في الزمان ، ونموذجية في تيرموديناميكا السيروورات اللاعكوسة ، بخاصة ، من خلال لعبة قنوات شاردية مهياة على نحو ملائم على غشاء محوار الخلية العصبية ، تنشر الخلية العصبية كامنات العمل ، على غرار تشويه فجائي ينتشر على طول حبل لدن موثّر (الأشكال ١٧ و ١٨ و ١٩) . من جهة أخرى ، في حالة غياب انتشار كامنات عمل ، يتذبذب (ينوس) كامن الغشاء في معظم الأحيان بشكل منتظم . وهذا التغير الدوري المرتبط بنشاط القنوات الشاردية غير تلك المستعملة بكامنات العمل ، يأتي بمثال جديد عن التصرفات الدروية المعلومة في المنظومات التيرموديناميكية المفتوحة واللاخطية . زد على ذلك ، أن انفتاح وانغلاق كثير من القنوات الشاردية لأغشية العصبونات ،

(١) إن جزيئات الناقلات العصبية ، التي تكون وظيفتها نقل معلومة من عصبون إلى آخر عبر المكان المشبكي ، تحررها حويصلات موضوعة على حبات التشجرات المحوارية للخلية الأعلى . وهي لا تنفذ بالفعل إلى الخلية السافلة ، بل تثبت على جدار الغشاء المشبكي الخاص بها ، وهذا ما يكون من مفعوله أن يعدل مؤقتاً نفوذ به بعض القنوات الشاردية ، وبالتالي يخلق إشارة كهربائية تعدل الكامن الغشائي .





بخاصة على سوية المحوار، تتعلق بفرق الكمون بين وجهي الغشاء. ويعدل التيار الشاردي الذي يسببه انفتاحها هذا الكامن، مانحاً العصبون اللاخطية السلوكية الضرورية لهظور ظواهر تبديدية.

العصبون، آلة منطقية

إن الدماغ هو بحق عضو حساب، الأمر الذي يوحي بالمضاهاة التي كثيراً ما يذكر بها مع الناظمت الآلية. وتؤسس لاخطية العصبونات بالضبط هذه المضاهاة. وبفضل هذه الخاصة، في الآلة المنطقية التي يكونها الدماغ، تستطيع العصبونات أن تلعب دوراً مشابهاً لدور الترانزيستور أو مركبات الكترونية أخرى تستغل الخواص اللاخطية لأنصاف النواقل.

إن إحدى وظائف العصبون الرئيسية بما هو آلة منطقية هي مقارنة معلومتين من أجل اتخاذ قرار. ويتقلص الحالات الممكنة لكل معلومة إلى خيار وحيد من نموذج نعم أو لا، فسوف يصبح القرار الذي يجب أن يتخذه الدماغ ذا نموذج ثنائي. والقرارات المنطقية الثنائية التي يمكن اتخاذها تنتمي بعامة إلى هذا أو ذاك من الصنفين التاليين: الـ «و»، الـ «أو»، الـ «أو الاستيعادية»، الـ «استيعاد». لنقرر من أجل قوننة المعطيات أن نمثل رمزياً كل «نعم» بالرقم ١ وكل «لا» بالرقم (صفر)، سواء على سوية المعلومات الداخلة أو القرار الذي يجب اتخاذه. حينذاك نستطيع أن نكتب لائحة بقيم التوابع المنطقية الرئيسية. لنفرض مثلاً أن أول معلومة تقابل رنة جرس إنذار، وأن الثانية تقابل قراءة دلالة الوقت في ساعة. فإذا كان الدماغ مبرمجاً حتى يضاء التلفزيون عندما يرن الجرس وتدل الميقاتية على الساعة الثامنة معاً، فالقرار سوف يكون موجهاً بالتابع «و». وإذا كان ينبغي أن تكفي معلومة واحدة من هاتين المعلومتين حتى ينطلق هذا العمل، فالقرار سوف يكون موجهاً بالتابع «أو».

يستطيع عصبون أو يتلقى عدداً كبيراً من المعلومات معاً. ويملك بعض من العصبونات في الواقع أكثر من عشرة آلاف مشبك، تصلها بعدة آلاف من الخلايا في الأعلى. ووفقاً لكامن الغشاء الذي يتج من جميع هذه المداخل على سوية

INF. 1	0	0	1	1
INF. 2	0	1	0	1
ET	0	0	0	1
OU	0	1	1	1
OU EXCLUSIF	0	1	1	0
EXCLUSION	1	0	0	0

القطعة البدئية للمحوار، يمكن أن تكون عتبة خلق كامن عمل قد عبُرَت أو لا؛ في هذه الحالة الملائمة ينشأ كامن العمل ويتشر على طول المحوار حتى يبلغ مختلف الحبات المشبكية للنهايات المحوارية.

بهذه الميكانيكية، يقارن العصبون المعلومات الداخلة كي ينتج إشارة خروج ثنائية، يعني إنتاج أو عدم إنتاج كامن عمل. على الصعيد النظري، ترجع فكرة كون آلات بناها البشر قد تستطيع أن تجري عمليات منطقية إلى أعمال عالم الرياضيات الإنكليزي آلان تورينغ، مداولاته في موضوع نشر في عام ١٩٤٣ من قبل وارن ماك كوللوش وولتر بيتس.

بعد نهاية الحرب بزمان قليل، كان أول مهندسي سيبيير نيتيك، بخاصة جون ثون نومان، يعدون ويبدؤون تشغيل أول ناظمات الية، كلفت بأن تجري، لصالح الجيش الأميركي، الحسابات اللازمة لتطوير قنابل «H». ويعود الفضل أيضاً إلى ثون نومان في التحاليل الأولى التي تقارن الأدمغة بالناظمات الآلية، التي كانت تدعى آنذاك عادة «أدمغة اصطناعية».

ذاكرة طبيعية وذاكرات الناظمات الآلية

إن الإستطاعة الذاكرة توفر نقطة مقارنة أخرى بين الأدمغة والناظمات الآلية. ففي حالة الناظمات الآلية، المقصود هو ذاكرات «قابلة للعنونة». وهي مجموعات منظومات ذات حالتين سوف نستمر بترميزهما بـ 0 وبـ 1، دارات «flip flop» ذات ترانزستور أو «أطواق مغناطيسية»، وحدتها المركزية تستطيع في كل لحظة أن تسأل الحالة بتحديد لها العنوان، العدد الذي يرمز موضع هذه الذاكرة الخاصة في الذاكرة الكلية. وقد تخيل أولاً بأن العصبونات، لكونها تستطيع أن تتخذ حالتين (أن تكون مثارة أولاً)، كانت تمثل في الدماغ الذاكرت البدائية، لكن لهذه الفكرة كاستتباع أنه ربما يكون على عصبون مثار، من أجل أن يسجل مجرد 0 أو 1، أن يظل مثاراً ما دامت المعلومة تظل مندرجة في ذاكرة. ونعرف اليوم أنه يوجد في العصبونات مناطق لدينه، تكون تعديلاتها قابلة لتغيير مميزات جواب العصبون تبعاً لتعلم ملائم. وهذه هي حالة المشايك وأيضاً، على ما يبدو، الأشواك التغصنية، التي هي أعناق دقيقة تصل أحياناً المشايك بجذوع التغصينات الرئيسية.

لوحظ أن «فعالية» المشايك بين عصبونين، أي احتمال أن تكون دفعة عصبية قد نقلت بنجاح عبر المكان المشبكي بين عصبونين، تزيد في بعض الحالات بشكل محسوس عندما يكون الموصل المشبكي قد حُصَّ بشكل متكرر. كذلك، تتعدل المميزات الشكلية والكهروفيزيولوجية للأشواك التغصنية في بعض الأحيان تبعاً لتواتر استعمال المشايك التي تفسح المجال لها من أجل مرور معلومات عصبونية. وتسهل تعديلات المناطق المشبكية هذه بشكل نوعي انتقال السائل العصبي (التنبيه العصبي) من عصبون إلى آخر، لكن فقط عندما تكون الموصلات المعنية قد استعملت بنجاح عدداً معيناً من المرات أولاً. وهذا التسهيل يمكن أن يدوم بضع عشرات من 1000/1 من الثانية ويزول، أو على العكس يمتد بطريقة مستديمة. ونتصور على هذا الحال أنه، بفضل اللدونة المشبكية، تستطيع دارات عصبونية

تفاضلية أن تنطبع في الدماغ إثر «تعلم». وإنه لبتكرار «الرسالات» ذاتها المنتقلة بالدارات ذاتها. وبالتالي المستعملة للتماسات المشبكية ذاتها، تنطبع هذه الرسائل في الذاكرة، بمقدار ما تكون هذه التماسات المشبكية ترى فعاليتها تزداد بشكل متلازم ومستديم.

إن العناصر الذاكراتية للدماغ ربما تكون والحالة هذه موضوعة على سوية المشابك، لا على سوية العصبونات ذاتها. وذلك يرفع عدد العناصر الذاكراتية الجاهزة في الدماغ إلى رقم ضخم، يبلغ على الأقل 10^{13} أو 10^{14} : على سبيل المضاهاة، تملك ناظمة الية شخصية من نمط IBMPC، بصورة عامة، ما يقرب من 10^6 ذاكرة أولية. فللدماغ بشري والحالة هذه استطاعة ذاكراتية موجودة بالقوة تكافئ مائة ألف ناظمة الية IBMPC! ويحتمل مع ذلك أن يكون فقط جزء من المشابك الحاضرة في الدماغ قابلاً للإستعمال من أجل خزن إعلام، لكن يظل ممتنعاً تقدير نسبته.

توجد مع ذلك فوارق جسيمة بين الدماغ والناظمة الآلية من وجهة النظر المتعلقة بالذاكرة. فمن جهة، لا يملك الدماغ ذاكرات «قابلة للعنونة»، بل ذاكرات «ترابطية». فالمعلومة، بدلاً من أن توجد مخزنة في سجل معلّم برقم، لا تكون معلّمة بالدماغ إلا في النطاق الذي يؤمن لها فيه مفتاح، رمز أو مماثلة. و«الوحدة المركزية» للدماغ، إذا ما وجدت، لا تلتبس محتوى ذاكرة معينة بعنوان، خلافاً للناظمة الآلية. إنها تقذف تقريباً من جميع الجهات، في مجموعة الذاكرات الجاهزة، مفتاحاً، مثلاً فكرة «جدة»، وتلقى جواباً على ذلك كل ما استطاع هذا المفتاح أن يحرره باعتباره استدعاءات، مثلاً صورة ثنيات شعرها الأبيض أو استدعاء كذا تحليلية قُدمت عندها.

من جهة أخرى، لا تبدو الذاكرة موضوعة بدقة، فتجارب، معزوة للأميركي كارل لاشلي وتعود لأعوام الثلاثينات، أظهرت أنه كان من الممكن أن تنزع القشرة الدماغية لفأر دون أن يكف عن التوجه في تيه كان قد تعود عليه قبلاً. فلو كانت

الذاكرة موضوعة لكننا نتوقع أن يفقد الفأر فجأة وبشكل كلي هذه المعرفة . وبدلاً من ذلك ، لا يكون تعود الفأر على التيه مُقللاً أو مخرباً إلا تدريجياً ، كلما مارسنا استئصالاً أوسع من السطح القشري . وقد سهلت هذه النتيجة ، منذ عدة سنوات ، تطوير النماذج «الهولوجرافية» للدماغ .

كانت تخالف ، في هذه النماذج ، نماذج الذاكرة الموضوعة ، وكان يُعتبر أن الذاكرة الموضوعة كانت موزعة أو «محصوة» في القشرة بأكملها ، شأنها شأن صورة «محصوة» في الترابطات الدقيقة بين حبيبات الفضة على كامل سطح «هولوجرام» . بيد أن الأوضاع المتطرفة نادراً ما تتوافق مع الواقع . إن بعض وظائف الذاكرة (التعلم ، إمكانية الإشتغال أو مقاومة الأعطاب الصغرية للمنظومة) تبدو متضمنة خواصاً لاموضعية للدارات العصبونية . بخلاف ذلك ربما تبدو وظائف أخرى (دقة الذكريات ، وثوق أو حفظ المعلومة خلال أدوار زمانية طويلة) مشروحة شرحاً أفضل إذا كانت تنصب على عناصر موضوعة من الذاكرة . ومن المحتمل أيضاً أن تكون المعلومات المختلفة المتعلقة بموضوع بعينه ، في الذاكرة الترابطية ، غير متبددة في الدماغ وحسب ، بل ومتضاعفة أيضاً في عدة نسخ ، حتى لو كان كل عنصر إعلامي ممكناً أن يكون موضعاً في كذا أو كذا عقد مشبكية .

مهما يكن من أمر ، يظل صعباً قرار ما إذا كانت الذاكرة «موضوعة» أو «متوزعة» ، بلا شك لأننا نطرح المسألة طرحاً سيئاً ولا نتمتع في هذه الأيام بالمفاهيم الأفضل تكيفاً مع وصف الذاكرة العصبونية . فالتقدم في هذه المجالات لا يتعلق وحسب بتراكم وقائع تجريبية ، بل أيضاً باقتراح مفاهيم جديدة من أجل تجميعها وكتابتها .

حدود العقل الصناعي

إن الأمل ، الذي داعبنا حيناً من الزمان ، في أن «العقل الإصطناعي» كان في طريقة إلى أن يتيح لنا أن نعرف معرفة أفضل ميكانيكيات الذاكرة والعقل الإنساني

قد خيب ، فالتمائل بين الناظمة الآلية والدماغ هو في الواقع تماثل خادع . فأكبر الناظمت الآلية لا تستطيع أن تنافس الدماغ البشري في بعض المهمات التأليفية التي ينجزها في بضع أعشار الثانية . لناحد مثال وجه الجدة ، الذي نتعرف عليه دون عناء في تشكيلة كبيرة من زوايا النظر والمسافات الممكنة . من أول وهله ، يدهشنا تفوق الأدمغة البيولوجية على الناظمت الآلية ، في مهمات «التعرف إلى الأشكال» ، لا سيما أن لهذه الناظمت الآلية سرعة في الحساب متفوقة بلا مثيل . فالعصبون يحتاج بضع الأجزاء الألفيه من الثانية للقيام بعملية ابتدائية ونقل نتيجتها إلى الخلية التالية : وتمتد الإشارة البيولوجية أو كامن العمل جزءاً ألفياً من الثانية أو يزيد ، وهي تنتشر بسرعة متغيرة حسب الحالات من ١٠ سم / في الثانية ، في التشجرات الإنتهائية لخلايا القشرة مثلاً ، إلى بضعة عشرات الأمتار في الثانية ، بالنسبة للألياف العصبية الغليظة المزودة بغمد عازل من النخاعين ، على النقيض من ذلك ، يُسجّل المنطقي لناظمة الية عملية ابتدائية في جزء من مليون جزء الثانية وتسري المعلومات في الناظمة الآلية بسرعة الضوء ، أي ٣٠٠,٠٠٠ كم / الثانية . في بضعة عشر ثانية الضرورية للتعرف على وجه ، لا تجتاز المعلومة البصرية بالتأكيد أكثر من عشر مراحل «حساب» - لا أكثر من عشر بوابات مشبكية . وتستطيع ، في المدة الزمانية نفسها ، ناظمة الية حديثة أن تتم عدة مئات الألوف في العمليات الإبتدائية . مع ذلك ، من أجل بلوغ النتيجة التي يبلغها الدماغ نفسها ، مثلاً تحديد هوية وجه الجدة تحت زاوية ما ، قد تحتاج الناظمة الآلية إلى عدة ساعات من الحساب ومن النخب الإعلامي . بالمقابل ، تسترد الآلة كل حسنتها عندما تقاس بالدماغ البشري في المهمات التي فيها مجلّية ، كالحساب العلمي : حينذاك تتبدى أسرع بلا مثيل من مماثلها البيولوجي .

لقد أخرج بالتأكيد ، الإفتان الذي مارسته الناظمة الآلية ، الذي ظهر في تطور العقل الإصطناعي في غضون سني ١٩٦٠ إلى ١٩٨٠ ، تقدم العلوم العصبية النظرية ، فبدلاً من السعي باديء ذي بدء لفهم كيف يعمل في الواقع الدماغ لمحاكاة بعدئذ ، تمسكنا باستعمال الناظمت الآلية الجاهزة من أجل تصنع الوظائف العقلية .

وقد اردنا، عندما اسكرتنا النتائج الأولى المشجعة، أن نمضي إلى مدى أبعد ونشرح الميكانيكيات المستعملة في الكفاءات الذهنية. وهذا مسعى غريب قابل للمقارنة بموقف باحث كان ربما يطلب، في عام ١٩٨٠، من صانعي أجزاء الطائرات شرح لماذا وكيف تطير العصفير (الطيور). ربما كان سوف يلح عليهم ليتحدثوا، مثلاً، عن مكافئ المحركات النفاثة لدى الطيور. والباحثون، لاصطدامهم بعوائق غير متوقعة، يلتفتون الآن نحو تحاليل جديدة نظرية تمس أعمال الجملة العصبية، يأخذهم بالحسبان أكثر معطيات الفيزيولوجيا العصبية. وتوحي الاستراتيجية الجديدة أنه ينبغي أولاً مكاملة هذه المعطيات في نماذج أعمال الجملة العصبية المركزية، وبعدها وحسب تطوير هذه النماذج وبناء آلات متخصصة في «المحاكاة العصبية».

توجيه المعلومة بالتوازي

لايوحد، في الوقت الراهن، تصنيف يُركن إليه، وتتعرف به مجموعات الجماعة العلمية، معطيات فيزيولوجية خاصة بأعمال الجملة العصبية المركزية. والأكثر أهمية وأكثر دلالة من وجهة النظر الخاصة بالوظائف الزمانية في الدماغ توجد معروضة أدناه.

بادئ ذي بدء، يبدي الدماغ عمارة متوازية توازياً رفيعاً. الأمر الذي يعني أنه، عندما تسري معلومة من نقطة إلى أخرى من الدماغ فإنه بصورة عامة لا يوجد ليف عصبي مباشر، وحيد، مكلف تخصيصاً بتأمين هذا الارتباط. وفي معظم الأحيان، يتماس عصيون معين مع عصبونات عديدة نحو السافلة. والعكس، يستطيع هذا العصبون أن يتلقى ويكامل أجوبة مئات وحتى ألوف العصبونات في الأعلى. فوق ذلك، أظهرت دراسات لاشلي في الفيزيولوجيا العصبية أن الذاكرة لم تكن، على النقيض من النازمة الآلية، موضوعة لعنوان جد دقيق. وفي دراسة الدماغ، يكون السلوك الإجمالي لمجموعة عصبونات مترابطة فيما بينها ومستعملة في توازن نفس القدر من الأهمية، وحتى أكثر أهمية من الخطوط الخاصة من عصبونات متنوعة بالمعلومة. ويقال إن المرأى «شبكة» يرجع على المرأى «تصفير».

ونستطيع أن ندرك حدسياً بأن الرنين القسري يستقر في مثل هذه الشباك، مسبباً مزامنة نشاط مجموعات عصبونات متسعة، وانفراغات هذه العصبونات معاً، يشكل رشقات متكررة، تستطيع أن تولد نوسانات (ذبذبات) في الكامن الكهربائي سعته كافية حتى يكون ظاهراً (مكشوفاً) خارج الدماغ بالذات. وهذه هي حقاً حالة الموجات المسجلة في العصور الدماغية الكهربائية، بفضل مساري موضوعة على سطح فروة الرأس. والموجات «ألفا»، الأكثر انتظاماً تكون ملاحظة لدى الأشخاص المستيقظين لكنهم مسترخين، عندما يكون انتباههم غير ملتزم. إنها على ما يحتمل تنشأ في «التشكل الشبكي» في قاعدة الدماغ ولا يبدو أنها يمكن أن تكون ناشئة إلا بمزامنة انفراغات عصبية لملايين العصبونات، إن دورها الذي يبلغ قرابة عشر الثانية ربما يمكن أن يكون مقابلاً لزيادة زمن تحليل الانطباعات المتلقاة، أو تلخيص الحالة الداخلية للدماغ، وفق سيروية تكرارية. إجمالاً، ربما تستطيع الأمواج الدماغية أن تناغم مراحل مختلفة من النشاط الذهني. وقد لوحظ، بالفعل، بأن حساسية الإدراك الزماني لدى القرد ولدى الإنسان كانت تتوقف على الطور الذي خلاله كان التنبيه قد طبق. إن فلاشي (ومضتي) ضوء مصدرتين بفواصل زمني جد قصير يكونان مميزين تمييزاً أفضل عندما يطرأ التنبيه خلال الطور المتزايد لموجات ألفا.

وتتدخل ميكانيكيات تأزريه أخرى من أجل اصطفاء شبكة خاصة من العصبونات بتأثير تنبيه معطى. ويشرح تفعيل مثل هذه الشباك التي تتيح العديد من طرق سير المعلومة لماذا يقاوم الدماغ مقاومة جيدة للغاية الأعطاب الصغيرة لبعض «مركباته». ويقدر بعض الباحثين أن إنساناً بالغاً يفقد كل يوم قرابة ألف عصبون، بيد أن وظائفه الإستعرافية لا تبدو متضررة من ذلك بشكل لافت للأنظار!

لقد أطلق التصنع في النازمة الآلية للشباك العصبونية، على ما يبدو، ثون نومان، الذي كان يريد أن يتحقق من الخواص الجديرة بالثقة للشباك والبنى «المتوازية». ففي هذه البنى يكون تحويل إشارة دخول إلى إشارة دخول إلى إشارة

خروج، معهود فيه، لا إلى عنصر حسابي وحيد، بل إلى العديد من العناصر المتشابهة الموصولة على التوازي . في هذه الأيام، حصلت النماذج «الوصلية» المشتقة من هذه الدراسة على نتائج غير مؤملة في كثير من المجالات الأخرى . إنها تلقى ضوءاً جديداً على مسائل التعلم والتعرف على الأشكال، بشكل يبلغ حداً من الجودة تظهر معه في السوق، تحت تسمية «ناظمات الية عصبية»، آلات جديدة مكيفة (ملاءمة) مع هذه المسائل .

إن البحوث حول التأذرية العصبونية والتفعيل الإصطفائي للشباك في خط الوصلية هي في أوج النماء، وقد حققت الآن نتائج مذهشة . مثلاً، استطاع تيرونس سيجنوفسكي، في معهد ماسا شوسيت للتكنولوجيا، أن يعلم شبكة «عصبونات» صناعية تدعى «NETTALK» ومجهزة بمكبر صوت كيف تتفاعل مع معطى نص انكليزي بحيث تلفظ لفظاً صحيحاً . وقد تم الحصول على هذه النتيجة في عدة جلسات تعليم، دون أن يقدم مسبقاً للآلة أي برنامج نوعي، ويجب ملاحظة أنه على غرار الدراسات الأولى حول الناظمة الآلية، تتناقض هذه النجاحات التكنولوجية مع الندرة النسبية للقرائن الصلبة فيما يتعلق بالاستعمال الواقعي للمبادئ المقابلة في الدماغ البيولوجي . أضف إلى ذلك، أن معظم النماذج المستعملة في هذه الأيام تعطي صورة سكونية للدماغ : إنها توحي كيف يمكن أن تكون الذاكرة موزعة في الدماغ ومستعادة في شروط خاصة للتنبيه، لكن دون إيضاح أعمالها الديناميكية . ويكون الوضع مماثلاً لو وضع بدايات الميكانيك الموجي الذي يتيح الحصول على طيوف الطاقة لحالات المنظومات المستقرة، لكن دون التوصل إلى وصف تطورها في الزمان . مع ذلك، ظهرت مؤخراً نظريات جديدة ترجح دور تأذرية ديناميكية للعصبونات . وتتضمن لدونة ذات ثابت زماني ضعيف للمشابك . ويبدو البعض من بينها أنه يقود إلى نتائج مثيرة للإهتمام في مجال التعرف على أشكال قيد تشوه مستمر (كما هو الحال في مسألة التعرف على وجه الجدة ضمن زاوية ما) .

التحضير للفعل

على الدماغ أن يقارن باستمرار المعطيات المحسوسة التي يزود بها النظر والسمع واللمس من أجل تحويلها إلى أوامر محرّكة. والاحداثيات الطبيعية المستعملة بالحواس وبالأعضاء المحركة من حيث عدم كونها شيء نفسه، فالمقارنات بين معطيات مختلف الحواس، وكذلك تحويلها إلى قرارات تنصب على أفعال محرّكة، تتضمن تحويلات إحداثيات، بالمعنى الهندسي للعبارة. وقد بدأنا نفهم في أي شيء تكون شبكات العصبونات أدوات ملائمة مع هذه التحويلات، وكيف أن هذه الميكانيكيات تتضمن وجود خرائط في الدماغ مثلية الشكل بغموض مع المعطيات الحسية، أي تقلد مسقطاً أكثر أو أقل مشابهة للطوبوغرافيا الطبيعية للتنبيهات الخارجية: خرائط شبكية موضعية للقشرة البصرية، وللجسم الركبي الوحشي، والأكيمة العليا؛ خرائط سمعية؛ خرائط حسية حركية للقشرة، على طول شق رولاندو، الخ.

مثلاً، تكون جملة الإحداثيات الطبيعية أكثر بالنسبة للنظر هي جملة محاورها مرتبطة، من جهة، بالهندسة الكروية للشبكية، ومن جهة أخرى، بحالة توتر العضلات محرّكة المقلة. إن جملة الإحداثيات الطبيعية أكثر بالنسبة للمساعد أو الساق ذات طبيعة قطبية، بمقدار ما يكون وضع نهايات هذه الأعضاء يتوقف على زوايا الدوران. أو توترات العضلات المثنية وضوآدها. لمختلف المفاصل، ويجب على الدماغ والحالة هذه أن يقوم بتحويل للإحداثيات، بين الإدراك البصري للجسم (لشيء) والأمر المحرك كي يستطيع المساعد أن يصل إليه.

في الهندسية التحليلية، تتم تحويلات الإحداثيات بضرب الشعاع الممثل لإحداثيات المبدأ بمصفوفة تعين عناصرها نمط التحويل الذي يجب أن يُجرى. ويصف الشعاع الناتج الإحداثيات الجديدة. إن العصبونات هي مركّبات ملائمة جيداً على هذا النمط من الحساب. وبالفعل، في عملية ضرب مصفوفات، تحصل على مركّبات الشعاع الجديد Ni بشكل مجموع متوازن لمركّبات الشعاع القديم Ai ، باوزان Bij مُعطاة بالمصفوفة التحويلية $(Ni = \sum_j Bij Aj)$. ويكون في مجموعة

عصبية، نشاط الخروج للعصبون Ni هو أيضاً مجموع متوازن لمختلف نشاطات عصبونات الدخول (Aj)، وكون الأوزان مثبتة بالفاعلية Bij للمشابك التي تصل العصبون i بالعصبون j ويمكن أن تكون الأمثال Bij بالطبع موجبة أو سالبة. يفترض أن تقابل الأمثال السلبية في الدماغ، مشابك مثبطة.

ترميز المعلومة

في ليف عصبي معين يحتازه قطار دفعات يجب أن يكون ترميز المعلومة من طبيعة زمانية. فالدفعات العصبية المنقولة بمحور بعينه تكون كلها ذات سعة واحدة وذات شكل واحد بالتالي، ليس بتغيير (تعديل) هذا الشكل يستطيع العصبون أن ينقل المعلومة. يجب أن يعتمد هذا العصبون على الفواصل، أوقات الصمت، التي تفصل الدفعات المتتالية. من وجهة نظر موضوعية، يجب والحالة هذه أن تقترب منظومة الترميز المستعملة بالدماغ من تعديل التواتر أكثر مما تقترب من تعديل السعة.

وحتى ماضٍ قريب، اعتُقد أن المعلومة المنقولة موضعياً كانت تركز ببساطة على التواتر الوسطي للإنفراغي للخلايا العصبية، وأن ترتيب هذه الإنفراغات في الزمان كان اتفاقياً بشكل محض. بعبارة أخرى، كان يُقدر أن عدد الدفعات في الثانية وحده، لكن ليس توزع هذه الدفعات في الزمان، كان ذا دلالة فيما يتعلق بجواب عصبون على تنبيه معين. بيد أن راموزاً موضعياً مؤسساً بشكل استثنائي على التواتر الوسطي للإنفراغات ربما لا يكون لدناً بما فيه الكفاية حتى يأخذ بالحسبان استطاعة وأمانة الدماغ^(١). إن أبحاثاً جارية يبدو من جهة أخرى

(١) الاستطاعة كلها، من هذا القبيل أن الدماغ يختزن في ذاكرته حشداً من التفاصيل لا يشك فيه، يمكن إبرازه عند الحاجة، كما يتحقق من ذلك غالباً في الدعاوى الجنائية في غضون إعادة التمثيل. الأمانة كلها، لأن قادر على أن يختزن، سنة بعد سنة، كمية ضخمة من المعلومات تحفظ بعدئذ دون تشويه. وإنها لتجربة شائعة أن تكون بعض الحوادث المدفونة منذ زمن طويل في الذاكرة صعباً أو بظناً جعلها تبرز، بيد أن تفاصيلها لا تكون حتى من أجل هذا مشوهة. وفي نموذج مكاني (شبكة) للذاكرة تكون الحوادث التي يجب ترسيخها في الذاكرة تكون تقريباً متكدسة بعضها على البعض الآخر في الحالة الكامنة في مجموعة خلايا عصبية برمتها مع مشابكها، وتكون، في كل معطى مسجل، الأوزان المشابكية - أي لجماعة المشابك - قد تغيرت، حتى بشكل غير محسوس. ويصعب فهم كيف تظل الطبيعة الصحيحة للذاكرات التي سبق تسجيلها لا متغيرة.

أنها تظهر أن كمية المعلومة المرمزة في شكل علاقة زمانية متبادلة في قطار دفعات عصبية - فيما يتجاوز مجرد التواتر الوسطي للإنفراغات - تزيد بشكل منتظم في المنظومة البصرية عندما تنتقل المعلومة من العصب البصري إلى الجسم الركيبي الوحشي ، إلى القشرة البصرية ، وأخيراً إلى القشرة الصدغية حيث تقطن . على ما يبدو ، الدارات الرئيسية المتضمنة في التعرف على الأوجه^(١) .

فيما يتجاوز التواتر الوسطي للإنفراغ ، ربما يمكن والحالة هذه أن تكون المعلومة منقولة ومرمزة في البنية الزمانية للقطارات الدفعية ، في فترات الصمت شبه الطويلة التي تفصل مختلف الدفعات العصبية ، نوعاً ما كما هو الحال في الرموز مورس . ونعرف أنه ، في هذا الرموز المستعمل قديماً من أجل الإرسال الكهربائي للبرقيات ، يكون الطول النسبي للإشارات ، نقاط وخطوط ، هو ما يتيح تمييز أحرف الهجائية العادية . وفق هذه الفرضية ، ربما يمكن أن تكون المعلومة المنقولة من موضع إلى موضع في الدماغ على طول طريق معين مكشوفة بدراسة جدّ دقيقة للعلاقات الزمانية المتبادلة بين مختلف الدفعات التي تشكل «جواباً» عصبونياً .

اقترح ، في لوس أنجيليس ، في عام ١٩٦٩ ، ستريهلر بأنه ربما تستطيع زمر مشابك متخصصة أن تكشف وتنخب ، في داخل قطار دفعات ، بوساطة ميكانيكية إنذار مكاني ، تلك التي تكون تخصيصاً صائراً إلى الخلية التي تنتمي إليها ؛ فالخلية ربما لا تنطلق إلا بشرط أن تقع الدفعات العابرة بالليف الوارد نفسه ، أو بالياف تنتمي إلى التشجرات النهائية نفسها ، معاً أو تقريباً معاً على كل من المشابك المعنية . ويفترض أنه ينضاف إلى هذه الميكانيكية ميكانيكة أخرى للتيسير الزماني للمشابك التي ربما تتيح في النهاية للليف المشكل بزمرة محددة من المشابك أن لا تستبقي ،

(١) حسب قياسات حديثة العهد جداً ، ربما تكون كمية الإعلام المنقولة بليف عصبي وحيد ، المقاسة وفق المعايير المعرفة بنظرية شانون حول الإعلام ، على الأقل من مرتبه ٤٠٪ أعلى من المعلومة المنقولة بالتواتر الوسطي للإنفراغ وحده في العصب البصري ، و ٩٠٪ أعلى من هذه في الجسم الركيبي الوحشي وفي القشرة البصرية الابتدائية . ومن مرتبه ١٢٥٪ أعلى في القشرة الصدغية ، المرحلة النهائية الإعتيادية لمهمة التعرف على الأشكال .

وتثبت في الذاكرة وتنقل إلا بنى الدفعات الموافقة للبنية الأصل وحدها. وتوجيه المعلومة المتخصصة ربما يستطيع والحالة هذه أن يتم نحو أهداف دقيقة التحديد.

حسب النموذج المقترح، ربما تستطيع المعلومة أن تكون مرمزة بطريقة تعددية، وفائضة، بدوافع قصيرة، مثل تثليثيات من الدفعات، متكررة بطريقة مماثلة في القطار نفسه، ومتعرف عليها بتجمعات المشابك المتخصصة، وربما يتيح النموذج فوق ذلك شرح كيف أن عدة معلومات ربما يمكن أن تكون مخزنة في الذاكرة في مجموعة مشابك بعينها، وكيف أن معلومة معينة تعينياً دقيقاً ربما يُستطاع أن تكون مستخلصة اصطفاً. فدراسات حديثة العهد جداً يبدو أنها تظهر أنه في الواقع توجد حقاً مثل هذه البنى المتكررة في قطارات الدفعات المسجلة في الدماغ، على الأقل في منطقة القشرة البصرية، وهي الوحيدة التي كانت قد درست من هذه الزاوية حتى الوقت الحاضر. لكننا لا نزال نجهل الوظيفة الدقيقة التحديد لهذه البنى المتكررة.

تنسيق وتوجيه العضوية

تشكل الميقاتية القطعة الأساسية في ناظمة آلية، حتى في باطن الوحدة المنطقية المركزية. فهي تقود تنفيذ البرنامج، خطوة فخطوة، بفضل شحن السجلات، مقارنتها وفق وظيفة منطقية، وخزن النتيجة في ذاكره. في هذه النقطة على الأقل، تتبع النماذج الأكثر حداثة للدماغ النموذج المثالي الصنفي. ففي نموذج توصيلي مثلاً، تكون حالة الشبكة النورونية متفحصية في فواصل منفصلة، خطوة فخطوة. في الزمن صفر، تكون التنبهات الخارجية مصورة (مظهرة) بالنشاطات المفروضة لبعض عقد الشبكة التي تمثل العصبونات. والحالة الناتجة للشبكة. إثر اتصالات ما بين عصبونية، تكون بعدئذ متفحصية وتكون الأوزان المشبكية (أي الفعالية النقلية من عقدة من الشبكة إلى أخرى) حينذاك محكمة من باب الإحتمال، وتتكرر الدورة في النماذج التي تكون فيها المعلومة مرمزة بشكل علاقات متبادلة زمانية بين دفعات متتالية، يوجد بالضرورة زمان تكامل أصغري

كي تكون العلاقات المتبادلة «مُزالة الترميز» و «الرسالة» مفهومة أو مختزنة في المجموعات المشبكية المتضمنة. في هذه الحالة، بالفعل، لا تتكون الرسالة من حادثة آنية أو شبه آنية، شأن دفعة وحيدة، بل من زمر دفعات موزعة في الزمان، ومتكرر بوجه الإحتمال.

توجد في الدماغ ميقاتيات عددها كبير جداً، وقد تعلمنا أن نتحقق من هوية بعض منها، ويحتمل أن لا توجد ميقاتية رئيسة. ونظراً للمرونة الكبيرة التي يحدثها الأعمال على التوازي للدماغ، لا يبدو لازماً أن تكون جميع العمليات المنطقية مُقادة بميقاتية وحيدة بعينها: ربما يكون ممكناً أن تكون مُقادة بعدة ميقاتيات لا مركزية أضف إلى ذلك، أن موجات الدماغ تبدو مُوقَّعة وظائفه التكاملية و«الحاسبة للزمان» المتتابة، نوعاً ما على غرار ما تفرض الميقاتية المركزية في ناظمة آلية إيقاعها على مختلف مراحل الحساب، على تتابع الخطوات المنطقية المنجزة. وقد اكتشف، في عام ١٩٨٨، أن عصبونات القشرة البصرية التي كانت تستجيب للمنبهات ذات العلاقة المنطقية فيما بينها (مثلاً، تكون هذه العصبونات حساسة بقطع مضيئة تنتمي إلى حياط بعينه) ربما كانت ذات ميل إلى أن تنفرغ بطريقة متزامنة، كـ «نوسانات متماسكة». بيد أن التحقيقات النهائية للوظائف التكاملية والحاسبة للزمان المتتابة هذه لا تزال منتقدة.

التفكير

أخيراً، إن الدماغ هو الحامل الفيزيائي للفكر الواعي. وعليه والحالة هذه أيضاً أن يزود بتمثيل داخلي للعالم وللذات. تمثيل يتضمن قرارات حول المعطيات المحسوسة التي تستحق أن يبقى عليها وأن تستعمل كي يُبنى «الأنا»، وحدة الأنا وتماسك العالم الخارجي. إن وحدة الأنا هذه وتماسك العالم الخارجي هذا ليسا بجلاء معطيات مباشرة. إنهما على العكس يتعلقان بنشاط دماغي بارع ومعقد.

رغم كوننا بعيدين عن معرفة ميكانيكيات بناء الأنا هذا وأن نفهرس كل جوانبه، يبدو مؤكداً أن الوظائف الزمانية للدماغ تلعب في ذلك دوراً كبيراً. وقد

رأينا للتو، بالفعل، أن النشاطات الإدراكية، والمذكراتية، والإستدعائية، لم تكن قد أنجزت آنياً بالدماع، الأمر الذي يقود إلى تصور نشاطه منقسماً إلى «لحظات» مختلفة. وفي وظيفة الإدراك الحسي الواعي، ينبغي أن تكون لحظات الإدراك المباشر هذه أن تكون مستجمعة ومنصهرة، كي تستعاد فينا، كل سيولة جريان الزمان. لأنه يوجد، بشكل إجمالي، بلا جدال في الفكر الواعي والمتيقظ وظيفة خاصة، مكلفة بأن تقدر في كل آن «الزمان الذي يمر»: وهذا ما كان برغسون يدعوه «الدوام الصرف»، الذي هو تتابع حالات وعينا عندما تدع أنا ذاتها تعيش.

زمان المبحث العصبي وزمان علم النفس

يدعو بحثنا والحالة هذه إلى اجتياز الحفرة التي لا تزال منفتحة التي تفصل علوم الأعصاب التجريبية، عن علم النفس التجريبي.

ويلح پول فريس، في دراسته علم النفس الزماني، بخاصة على مدتين خرجتين في الإدراك الحسي لدى الإنسان. التواتر المفتاح وقدره ١٠٥ هرتز هو ذلك الذي فيما يتجاوزه تنصهر الانطباعات المتتابعة بعضها في البعض الآخر. وتشكل صورتان معروضتان بفواصل زماني قدره مائة جزء من ألف جزء الثانية صورة مركبة، كما في السينما حيث يكون هذا الإنصهار مستعملاً من أجل استرجاع الحركة. وهو أيضاً التواتر الأكبر من أجل العزف الموقع على ملمس كملمس البيانو، إذا إعطاء أوامر محرك متتابعة ومتمايزة. وقد كشف پول فريس نفسه التطابق بين هذه المدة الحرجة ودور الإيقاعات ألفا لتصوير الدماغ الكهربائي.

الدور الثاني الحرج، ومدته ٦٠٠ جزء من ألف جزء الثانية تقريباً، يقابل الفاصل التلقائي بين تنبيه وجواب إدراكي مُعدّ، مثل تسمية شيء. ولكونه والحالة هذه إذا صبح القول، «الدرجة» الخاصة الطبيعية، المستغلة بما هي كذلك في التوليفات الموسيقية (التقاسيم الموسيقية). على كل حال، وحتى لو كانت المدد المقدرة يمكن أن تكون مادة تقديرات متنوعة- وحتى أن تتغير من فرد إلى آخر-، فإن وجودها وتقطيع الزمان النفساني اللذين تضم بينهما لا يبدو أن غرضاً للشك.

إن فكرة تقطيع -أو، إذا أردنا أن نتحدث حديث الفيزيائيين، تكميم- للزمان النفساني ليست فكرة جديدة. فهي قد مثلت قبلاً في مؤلفات ويليام جامس، الذي كان على ما يبدو أول من ناقش في الغرب هذه الانفصالية لميكانيكيات الإدراك العقلية، التي «فتراتها» ينبغي أن تتابع مثل صور ثابتة تتوالى في فيلم. «إن أعمالنا الإستطلاعية (الإستعرافية) أو الإدراكية لما هو كائن يجب أن تكون منفصلة» هذا ما كان يكتبه، إن شعورنا بالإستمرار في التتابع، الذي ندعوه المدة، يجب أن يكون والحالة هذه وظيفة إستعرافية معدة، من المفهوم أن «تتابع إنطباعات، في ذاته وبذاته، ليس انطباع بالتتابع».

تسارع الزمان المعاش

نشعر أننا نعيش وأنا نتحقق من الزمان الذي يمر، لكن أليس لدينا انطباع بأن هذا الزمان، الزمان المعاش، لا يجري جرياناً منتظماً؟ ففي بعض الأحيان، يتأخر في جريانه، على مقدار ضجرنا أو نفاد صبرنا (تلهفنا) لإثارة حادثة أو المضي لتلاقيها. وفي أحيان أخرى، يجري جرياناً سريعاً إلى حد أنه يصعب علينا متابعته. وقد كان بعضهم يقول بظرافه بأن الموت يفاجئنا عندما لا نعود نستطيع أن نجري بما يكفي لاتباع الزمان، عندما يصمم الزمان على أن يتجاوزنا إلى الأبد، نحن مجمعون تقريباً على تقدير أنه من الناحية النفسانية، وإلا فحتى بيولوجياً، أن الزمان يمضي بسرعة أكبر فأكبر مع التقدم في العمر. فشهر في المدرسة كان يدو لنا سرمداً. وشهر عمل في عمر النضوج يبدو قصيراً قصراً رهيباً.

إن الأسس النفسانية لمثل هذا الانطباع معلومة بشكل جدسي. في النطاق الذي يصعب فيه تكميم الانطباعات الذاتية وبناء بروتوكولات تجريبية ربما نستطيع مقارنتها بطريقة عملية. أي قابلة للتوالد، لم يستطيع علماء النفس في هذه المسألة الحصول على نتائج. كان جامس يعتقد أن «إن الرده الزماني نفسه يبدو أقصر عندما نشيخ- هذه بالتأكيد حالة الأيام. والشهور، والسنين، وأن يكون أيضاً هذا هو حال الساعات أمر مشكوك فيه، والدقائق على الأرجح تظل هي عينها». بهذا

التأكيد، كان جامس يود على ما يحتمل أن يقول بأن الروايز النفسانية لتقدير المهل الزمانية التي مرت من قبل الأشخاص المعمرين أو من قبل الأشخاص الفتيان لا تختلف بشكل ممكن تقديره، عندما تتعلق هذه الروايز بفواصل زمانية قصيرة قصراً كافياً. لكن يستطيع أشخاص معمرين استطاعة جدّ جيدة أن يصححوا، في تنفيذ أنواع الروايز هذه، إحساسهم المباشر والحدسي بـ «سرعة» جريان الزمان. وفي الواقع، علينا أن نعرف أنه بالرغم في أبحاث پياجية المعنى بها وفريس وعلماء النفس المعاصرين، فإن أشياء قليلة معلومة بخصوص الإدراك النفساني للمدة، والعلاقات بين الزمان النفساني والميقاتيات البيولوجية.

ألا ربما يمكن أن يكون انطباع أن الزمان يجري جرياناً أسرع مقترناً بالتباطؤ التدريجي (المطرّد) لميقاتية بيولوجية؟ إن التباطؤ (التقاصر) المحتمل لإيقاعات ألفا في غضون التشيخ ربما يستطيع قبلياً أن يشرح الانطباع النفساني بتسارع للزمان (إذ أن الدماغ ربما يستخدم كمعيار زمني الدور بين نهايتين أعظميتين للموجات ألفا، فردح زمني فيزيائي بعينه ربما يكون مقاساً بعدد من الأدوار أقصر لدى الأشخاص المعمرين منه لدى الفتيان). إن تناقصاً خفيفاً في تواتر إيقاعات ألفا لقد لوحظ فعلاً لدى الأشخاص المعمرين، بيد أن هذا التناقص - من رتبة بضع بالمائة - يكون جدّ ضعيف لتحليل الانطباع النفساني لتسارع الزمان، بهذه الميكانيكة.

زمان نفسي وحاضر

إن الأهمية الممنوحة هنا لتقطيع الزمان النفساني ليست طارئة. إنها تبدو لازمة لفهم كلمة أساسية من معاشنا ولمنحها معنى: «الحاضر». الزمان الذي كان يجري الحديث عنه حتى الآن، لدى ملاحظته عاملاً في الكون، في الطبيعة الفيزيائية والعالم البيولوجي هو بكل جلاء زمان مجهز بمتحة (سهم)، بيد أنه ليس حتى من أجل هذا مقطعاً في المقولات المألوفة الثلاث الماضي والحاضر والمستقبل. باستعادة جملة شهيرة من جمل أنشتاين مع تصحيحها، ليس العالم على كل وجه حالياً ممتداً بكل بعده الزمني؛ إنه في الواقع «في صيرورة». مع ذلك فالفصل بين

ماضي وحاضر ومستقبل ربما يمكن أن لا يكون سوى «وهم». والزمانان الفيزيائي والبيولوجي موجهان بالتأكيد، بيد أنهما لا يشتملان على هذه الشريحة المميزة التي ندعوها الحاضر. إن الزمان، لكونه مستمراً بشكل أساسي، يمكن أن يُقسَّم - كما سبق أن كان أرسطو قد لاحظ ذلك بين القبل والبعد، بيد أن «اللحظة» التي تفصل بينهما لا تستطيع أن تكون قطعة زمانية كما لا تستطيع نقطة أن تكون مختلطة بقطعة من مستقيم.

طوبولوجيا، إن أدوات تجزئة كاللحظات والنقاط لا تستطيع أن تكون من طبيعة ما تقسمه عينها. باختصار إذا كان الحاضر بالنسبة لنا قطعة زمانية متحركة، فهي لا تستطيع أن تكون غير نوع من حاضر «سميك»، بدلاً من اللحظة الرياضية التي لا وجود زمني لها. إن مثل هذا التمييز بين حاضر سميك واللحظة التي لا سماكة لها كان قد سبق أن أشار إليه ريدموند هوسيرل وشارل بيرس.

والحالة هذه، إن الحاضر يقابل فاصلة زمانية من نوع ما، مشتملة على الأقل على وحدة إن لم نقل عدة وحدات زمانية نفسانية. بالفعل، إن القطعة الزمانية المتحركة أبداً، والتي في غضوننا نعي الأحاسيس هي ما يصلنا ونعد الأعمال التي نكاد أن نشرع فيها. من وجهة النظر النفسانية، والحالة هذه، ليس «الحاضر» بـ *stricto sensu* المعنى على ما يحتمل مهماً أهمية المستقبل المباشر: فهو الذي يمنحنا، بالأعمال التي نعدّها في اللحظة «الآن» عينها، حساً حاداً بالحاضر، وليس العكس. وقبل هايدغار سبق أن كان لبرغسون هذا الرأي، عندما كان يكتب أننا نقدر درجة واقعية الأشياء بدرجة فائدتها، بـ «سوية التأثيرات الممكنة لجسمنا عليها».

أفق المستقبل

بيولوجياً، يبدو أن النماء العجيب للفص الجبهي البشري في غضون مليوني السنين الأخير يقابل تطور كفاءتنا لتوقع المستقبل، لتوجيه نظرنا دائماً إلى أبعد. إن نوعية الزمان النفساني البشري تعتمد والحالة هذه أكثر، على ما يبدو، على

استطاعتنا أن نتوقع المستقبل (المصير) ، بالأحرى أكثر منها على كفاءتنا على تثبيت الماضي في الذاكرة . الذاكرة لازمة لتوقع المستقبل ، لكنها لا تكفي : فللحيوانات كفاءة عالية للتثبيت في الذاكرة ، لكن ليس لها غير أهليات رديئة في الممارسات التوقعية للمدى البعيد . إن إحدى نوعيات الإنسان الأساسية في وظائفه الإستعرافية تتعلق والحالة هذه بالأفق الزماني الذي توسع لديه توسعاً كبيراً نحو المستقبل ، بشكل يتصل بلا ريب بنماء فصح الجبهي . وعلينا مع ذلك أن نتفرس هنا في مسألة الإختلال بين ظهور العضو وظهور الوظيفة : فإذا كان تنامي القشرة الدماغية يعود إلى ما يقرب من مليون سنة ، فإن الإستطاعة الإسقاطية الذاتية في المآل البعيد لا يعود تاريخه ، حسب كل المظاهر ، إلا إلى ما يقرب من عشرة آلاف سنة . والآثار الأثرية الموروثة عبر الحضارات الماضية توحى فعلاً أنه في كون ما قبل التاريخ الثقافي ، قبل هذه المرحلة ، كان القلق الميتافيزيقي فيما يخص المآل البعيد مفقوداً . فما الذي حصل في غضون ذلك؟ وكيف كان علم النفس الخاص بالزمان لدى أسلافنا البشر المنتصبين أو البشر المكتسين؟ نستطيع افتراض أنه قد أمكن أن يعقب انفجار الإستطاعة الدماغية إعادة تنظيم بطيئه ، برمجة تدريجية للدماغ في وظائفه الذهنية .



نستطيع من الآن أن نحدد بدقة الخطوط العريضة للزمان في العلوم العصبية . ونعرف من الآن ميكانيكيات حصول وانتقال الدفعات العصبية ، ومن المؤكد أن هذه الدفعات العصبية تكون مستعملة من أجل الوظائف الإستعرافية للدماغ . وإن لم تكن معلومة كلياً ، ميكانيكيات الذاكرة ، فإنها تبدأ بأن تكون منكشفة . ويُعتقد أنها تتضمن تعديلات للحالة الفيزيا- كيمياوية للعصبونات ، وعلى الأخص في مناطقها المشبكية . وهذه التعديلات قد تستطيع أن تتيح إعادة ، حين الإستدعاء إلى الذاكرة ، لشكل نشاط عصبوني مماثل أو قريب من النشاط الذي كان مقترناً بالحادثة

البديئية . أخيراً، إذا كنا لا نزال نجهل كيف أن هذه الإشارات تكون بالفعل مستعملة من أجل المحاكمة المنطقية والسلوك الإرادي، فإن النماذج الراهنة التي تحاول تحليلها تشدد أكثر فأكثر على دور الزمان السامي في هذه الوظائف بتزامنية الإشارات و/ أو تكرار البواعث الزمانية التي تكونها .

وإذا كان وعي الذات قد رُفِع إلى سوية نوعياً أعلى لدى الإنسان مما هو الحال لدى الحيوانات، فذلك بحق عبر هذه الأهلية الزمانية للدماغ، وتوجهه نحو المستقبل . وقد كان مارتن هيدغار يشدد على الروابط العضوية بين **الأنا** والإستباق : **كان يكتب** «ظاهرة الزمان الأساسية هي المآل . لكي نفهم ذلك دون السعي لوضعه كمفارقة مثيرة للإهتمام، ينبغي أن يبقى على نفسه في استباقيته» . كيف لا نتعرف هنا على حدس حقيقة عميقة، تمس بالضبط الإنسان في علاقاته بالزمان : **ذاقتنا، أنانا مؤسسة على اليقين بأنه، في اللحظة التي تلي، في دقيقة، في يوم أو في سنة، سوف نكون عين ذاوتنا وسوف نتابع دائماً الترضيات نفسها، المبتغيات نفسها، ونقتات بالأمانى الأساسية نفسها؟ من الناحية الفيزيولوجية، يحتمل أن يكون الإنسان بشكل أساسي «عصبونياً»، إلا أنه يكون، نفسانياً، بخاصة «زمانياً» .**

* * *

خاتمة

إن المغامرة العلمية ، التي بدأت من حيث الأساس منذ أقل من / ٤٠٠٠ / سنة ، سبق أن أتاحت لنا أن ندير ظهرنا لبعض علوم الأساطير (العود السرمدي ، الساعات غير المتساوية ، وفي وقت أكثر قرباً ، الزمان المطلق والكلي) ، وأن نستكشف على التوالي الجانبيين الرئيسيين والمتكاملين للمفهوم الزماني ، بخلقنا من أجل ذلك مفهومي السببية والأنطروبيا الملائمين^(١) .

غير أن المسائل المتعلقة بالزمان ، بالسببية ، بالأنطروبيا تجاوزت هي أيضاً إطار الإنشاءات العلمية . وقد كانت هي أيضاً في قلب استفهامات أصحاب العقول الثاقبة أكثر في الفلسفة ، المسلحين بمعارف مرحلتهم وحدها . من بين هؤلاء ، كانظ وهيغل وبرغسون يحتلون بلا منازع مكاناً سامياً . ومن المفيد أن نضاهي ، ونحن نوشك أن نختم هذا الخطاب عن الزمان (لا أن ننطق باستخلاصات نهائية ، خارج متناول المنهج العلمي ، بخاصة حول موضوع كهذا) ، إرشاد العلم المعاصر بحدوس هؤلاء المفكرين الثلاثة .

السببية المطروحة للبحث مجدداً

أكدت لنا نظرية النسبية أن الزمان لا يرجع القهقري أبداً . وذلك يصح في الميقاتيات الميكانيكية الطبيعية أو التي بناها البشر ، كما في الميقاتيات التيرموديناميكية التي تستعمل الخواص الإشعاعية للذرات ، أو أيضاً في الميقاتيات البيولوجية التي

(١) الأمر الذي لا يعني ، بل العكس ، أن يكون الاستكشاف حول هذه النقطة قد اكتمل ، ولا أن يكون المعنى الذي نمنحه في هذه الأيام لهذه المفاهيم قابلاً لتنقيحات جديدة . لكن يوجد ثم بالضبط معنى المشروع العلمي : قبل السيطرة على الطبيعة وإخضاع القوى من أجل استعبادها لمنفعتنا بالتكنولوجيا ، يعني الأمر أكثر كثير بالنسبة لها أن نكيف تدريجياً لغتنا مع الطبيعة .

تبدد إيقاعاتها الداخلية أنطروپيا . وتنسجم السببية الفيزيائية مع تعريف الزمان كدرجة حرية : وتحافظ المواضيع (الأشياء) التي تستعملها على هويتها وهي تتنقل في اتجاه يدعى «مصير» ، **يظل أبداً هو بعينه** .

بيد أن نظرية النسبية تتوج رؤية إلى الزمان أكثر دقة بكثير مما تدعنا نفترض خاصة اللاعودة هذه . إنها تجعل من السببية مثلاً ترتيبياً كلياً ، خاضعاً لعدم تغير سرعة الضوء ، التي تأخذ قيمة C في جميع الجمل المرجعية الممكنة . وقد دفعت كلية هذا المثال الفيزيائيين إلى تقديم تفسير سببي للزمان .

لكن الآن ما عاد يُستطاع تقليص الزمان إلى تفسيره السببي . لقد أظهرت قوانين الميكانيك الكوانتي ، وعلاقات عدم التعيين لهيزنبرغ ، ومبدأ تراكم الحالات الكوانتية وظواهر اللانفصالية التي تنتج عنه الإختلال الذي يوجد بين الواقع في ذاته وهذه القاعدة الفكرية . ومن أجل أن تعاد إلى السببية كل قوة مثال كلي ، ينبغي أن نجد لها تعريفاً أكثر دقة مما كان يود التركيز دي لايلاس . وحيث أن الحتمية لا تملك هذه الكلية (الشمولية) التي كانت تتيح مماثلتها بالزمان ، فإن مآل العالم ليس على ما يحتمل مندرجاً برمته في حالته الحاضرة^(١) .

هذا المنظور يدنينا من كانط ، الذي كان يجاهر برأيه أن المكان والزمان لم يكونا خاصتين للطبيعة في ذاتها ، وأن السببية لم تكن قط توسع حكمها ليشملها .

كانط واسترداد الحرية

بالنسبة لكانط ، يكون المكان والزمان مقولتين للإدراك (للذهن) ، أي فكرتين فطريتين تتيحان لنا أن نرتب العالم ، بيد أنهما لا تنتميان بكليتهما إلى الطبيعة : إنهما يعكسان جزئياً بنى عقلنا . أضف إلى ذلك ، إن إدراكاتنا لا تسلمنا إلا نسخة ، سبق أن فُسِّرَت ، للعالم ، بالضبط عبر مقولتي المكان والزمان هذين .

(١) رغم الطابع الموجز لهذا التخطيط ، لنلاحظ أن نظرية الإنشعابات في تيرموديناميكا السيوررات اللاعكوسة سبق أن أتاحت لنا أن نفهم كيف أن المآل (المصير) ليس مؤكداً دائماً ، في حين أن الطريق المتبع فعلاً يتعلق بخواص البيئة أو بالفوضى الكلية التي ربما لا تتيح أي توقع مبكر .

ولا يحصل إلا في هذه النسخة المفسرة للعالم، نسخة «الظواهر»، أن تطبق السببية.

العلم لا يقول ذلك بالضبط. فالواقع في ذاته يكون بالتأكيد خاضعاً لقانون قريب من السببية، حتى لو لم تكن السببية التي تطرحها النظرية الأنشائية في النسبية. بالتأكيد، لقد ألح كانط، في مواجهة الزمان المطلق و«الالهي» النيوتوني، بحق على الجانب الاستعرافي، والنفساني والإبيستيمولوجي لهذا المفهوم. إن زماننا ليس هو زمان الطبيعة الخام؛ فهو يوجد في منتصف الطريق بين الأشياء وبيننا، حتى أقرب إلينا من الأشياء. لكن منذ أن نعرف الفصل بين الزمان والسببية، ومنذ أن نعرف حدود قابلية تطبيق هذا المفهوم الأخير، لا يبدو لازماً اللجوء إلى الخدعة الكانطية من أجل أن تفتح في الطبيعة ثغرة فيها ربما تستطيع الحرية أن تدلف. وهذه، في الواقع، يحتمل أن لا تكون إلا ميزة خاصة للزمان الأنطولوجي، نوعاً من المطابقة (الملاءمة) العميقة للصدفة مع الطبيعة، الصدفة التي ربما لا تكون من العمى بقدر ما يقال عنها. وقد سبق أن كان سبينوزا وليبنزيريان في الحرية امتثالاً للتدفقات العميقة التي تعبر الطبيعة. وربما تستطيع الإبيستيمولوجيا العلمية حقاً أن تلحق بهما غداً حول هذه النقطة.

هيجل أو الدوام الديالكتيلي

كان هيجل قد جعل من الصيرورة «شكل وجود الطبيعة»، وفي ذلك تقريباً الحركة الحديثة العهد للعلم أيضاً منها. لكن كان هيجل في الوقت نفسه قد نفى الواقع، بحبسه إياه في ديالكتيكه كما في فكي كماشة. والواقعي، بعيداً عن أن يحظى بالبقاء، يولد في كل أن من العدم ويعود إلى العدم: «والحقيقة ليست لا الوجود ولا العدم، بل واقع كون الوجود قد مرّ (وليس يمر) في العدم، والعدم في الوجود...»، وحقيقتهم تكون والحالة هذه هي حركة اختفاء أحدهما في الآخر الفورية هذه! إن المقاربة الهيجلية، بمثاليته المطلقة، تكاد أن لا تتيح أن نجعل من الطبيعة موضوع (مادة) استقصاء علمي ضمن منظور واقعي وبخاصة أن نعزو

للزمان أو للصيرورة خواصاً موضوعية، كالسببية. طبعاً ما يتأكد ثانية، لا تبدو السببية ملائمة من أجل تمثيل خاصة موضوعية للطبيعة. لكن من أجل أن تستجوب طبيعة الصيرورة الحقبة بأدوات العلم أو الفلسفة، ينبغي على الأقل أن نقر بوجود شكل سببي ما. الأمر الذي بدونه، ربما لا يستطيع الحاضر أن يخبرنا عن المآل (المصير)، وقد يصبح العلم عاجزاً. والأسوأ من ذلك، ربما لن يستطيع الحاضر أن يقول لنا شيئاً عن الحاضر، إذ، كما كان هيرفي بارو يدعو مؤخراً إلى ملاحظته، «إن الصيرورة... هي التعديل الذي يكابده مجموع الواقع ويمارسه في الحاضر». إن علم النفس يتوافق مع هذا الاستنتاج، الذي يرى في حاضرننا، حسب التحليل البرغسوني، غلاف تأثيرات جسمنا الممكنة على الصور.

نحو أنطروپيا موضوعية

إن التقدّمات التي تمت في فهم وتهذيب مبدأ التيرمويناميكا الثاني ودوره في الطبيعة تساعدنا على معرفة المزيد عن طبيعة الصيرورة. وبفضل مفهوم الأنطروپيا، نحاول أن نؤكد طابع الصيرورة المطلق، واقع التغير في العالم (مهما كان، في تحليله الأخير، جوهر هذا العالم النهائي). منذ قليل، كان معظم الفيزيائيين يترتبون بتصميم في مدرسة «الواقعية»، تلك التي تجاهر برأيها أن النظرية الفيزيائية تعالج الواقع في ذاته، بشكل مستقل عن أي ملاحظ. ومن وجهة نظر المماثلة بين الزمان وبين السببية، كان هؤلاء الفيزيائيون أنفسهم يجاهرون برأيهم أن الحتمية الآلية mecaniste والقواعد النسبوية لانتشار الأسباب كانت تنطبق على الواقع في ذاته. وقد كانوا خلافاً لذلك يقرون أنه لم يكن للأنطروپيا دلالة موضوعية بشكل محض، للسبب الكافي الذي هو أن هذا المفهوم كان يصف تطور (تحرك) المنظومات نحو حالات «محتملة» أكثر فأكثر، وأن مفهوم الاحتمال كان من طبيعة ذاتية بشكل لا يمكن إنكاره. صحيح أن الأنطروپيا تحافظ على علاقة متينة مع المفاهيم الترتيبية والإعلامية، التي يكاد كل الناس يعتقدون أنها لا يمكن أن تكون مرتبطة بالواقعي في ذاته، بشكل مستقل عن كل مشروع ذاتي (إذ أن ترتيباً يحكم عليه نسبة إلى مشروع، لقصد خاص) أو عن كل ملاحظ. لكن هل إن الترتيب أو

اختلال الترتيب هما حقاً خاصان بمشروع؟ ويمكن أن نتصور اختلال ترتيب مطلق : ذلك الذي لا يمكن أن يكون مرتباً بأي مشروع ، بالنسبة له ربما سوف لن يوجد أي مفتاح للقراءة . يحتمل أن يكون جوهر العالم قد خرج من فوضى كونه خاصتها الرئيسية - الوحيدة - ربما تكون عدم قبول أي ترتيب محدداً على يد أي ملاحظ كان ، وربما تكون والحالة هذه من هذا القبيل ، فوضى موضوعية . على هذا الحال ، ربما سوف يمكن أن يعقب الواقعية السببية وذاتوية الأنطروپيا منذ وقت قريب ، غداً ، ذاتوية للسببية (على الأقل كما قد عُرِّفت في الكتب الوجيزة عن النسبية) وواقعية للأنطروپيا ، أو لشيء ما يشبهها .

إنه لفي اللعب بين الزمان والصدفة علينا أن نتوقع تقدمات جديدة في استشكاف وفهم الزمان . وينقصنا ، من أجل رفع زاوية من القناع الجديدة ، رؤية واضحة حول الفرق بين الصدفة الواقعية ، قيد العمل في العالم والمجازفة الرياضية ، التجريدي ، التي تكون بالطبع غير قادرة على قيادة الكون ، والأشياء والموجودات نحو قدرها . والزمان يقيم على ما يحتمل في هذا الفرق بين المجازفة الرياضية والصدفة الواقعية . إنه لفرق أصغري من حيث الظاهر ، بيد أنه يستطيع وهو يؤثر في الجزئيات التي تعد (١٠)^٨ والتي يحتوبها الكون ، ويسيطر كسيد على الخواء عينه وبخاصة على الخواء البدئي الذي به بدأ كل شيء ، يستطيع أن يصنع الصيرورة . ونستطيع حينذاك أن نأمل بأن نفهم فهماً أفضل العلاقة الصحيحة بين الحتمية والتجديد (الابتكار) ، هذه المسألة الأساسية للفلسفة ، وأن تمنح مضموناً لقضية برغسون هذه : «إن الزمان هو اختراع أو ليس شيئاً على الإطلاق» .

المادة والدوام والحياة لدى برغسون

كان برغسون ، بعكس كانط ، يقر بأن الزمان يوجد في قلب المادة : فبعيداً عن كونه صعباً إدراكه ، يكون إدراكه مباشرة سهلاً علينا ، ليس بالعقل ، بل بالحدس . «وصحيح أن العقل يبني مفاهيم وهذه المفاهيم تبني بنية الواقعي . لكن الحقيقة هي في أن يستطيع عقلنا أن يتبع المسيرة المعاكسة . إنه يستطيع أن يقيم في الواقع

المتحرك ، بتبني الاتجاه المتغير باستمرار ، وفي النهاية أن يمسك به حدسياً ، هذا ما كتبه في مؤلف الفكر والمتحرك .

من نواح عديدة ، لا يمكن إلا أن نكون متأثرين بسداد وجهات نظر هذا الفيلسوف الذي كان يعلن ، منذ مضي خمسين سنة ، بأن العلم كان يعذب الزمان عذاباً شديداً ويشوّهه ، باسقاطه إياه في المكان (هذا ما كون التفسير السببي للزمان) . يجب الاعتراف بالمقابل أن برغسون ، وهو يلح بحق على الصيرورة ، لم يقدر حق قدرها أهمية وجه الزمان الآخر ، ذلك المرتبط بالسببية ، فبعدم فهمه مداه الحقيقي ، شوّه نظرية النسبية في كتابه دوام وتزامن .

كان برغسون بالتأكيد على حق ، بالمقابل ، في الحاحه على صدوع (نقائص) الحتمية . فحدسه لم يخله عندما كان يعلن أن الزمان هو اختراع . لكنه لم يفهم أن الحياة لم تكن جهداً مستمراً من أجل تسلق منحدر الأنطروپيا . ولا يوجد تفرع ثنائي بين المادة والحياة : فكلتاهما تخضعان لمبادئ التيرموديناميكا . لكن في حين أن إحداها تستدل منها ، في التجربة العادية ، كي تتفكك وتتأحد ، فإن الأخرى تغترف منها القوة على أن تنظم . إن الاختراع الذي كان يطالب برغسون بحقه فيه بالنسبة للدوام ، يوجد والحالة هذه يوجد في قلب الأنطروپيا عينه . من أجل إزاحته عن موقعه ، ينبغي الإستفهام عن الصدفة ، أو الأخرى عن الفوضى الكلية .

ما الرأي في الثنوية التي أدخلها بوغسون ، في القطيعة التي يقر وجودها بين الحياة والفكر ؟ إن هذا السؤال سوف يظل زماناً طويلاً خارج متناول الاستقصاء العلمي ، مع أننا نستطيع دون التعرض لمجازفة أن نتوقع بأن هذه الحدود بين مجال العلم ومجال الدين سوف تكون مرفوضة . وكلما فهمنا دور الزمان في الطبيعة الفيزيائية . ثم في انتشار الحياة ، في تفتح الأفراد ، وأخيراً في تفتح الفكر ، فإننا نحوط بشكل أفضل حدود (نهايات) المجالات التي تسنح لاستكشافنا بمناهج العلم . في هذه الأيام الآن ، يتيح لنا علم الزمان أن نفهم آليات ضبط (تنظيم) الحي . وغداً ، سوف يتيح لنا أن نفهم ما هي الذاكرة ، وحسب سوف يفلت منا حينذاك ما يمثل الحد القصبي للحياة المفكرة : التمثيل الذهني للعمل الحر .

بين الكون والحياة، وجه الصيرورة الحق

إن سلطان الزمان يتأكد عندما نتسلق درجات التعقيد، نحو أمكنة المجرات اللانهائية وتعقيد الموجودات الحية المجهرية، وينبغي أن يحسب تحليلنا حساب ذلك. هل يكون صدفة، أو إشارة، إذا كان الموجود الأكثر تعقيداً هو أيضاً وحده من يمتلك حساً بالزمان مرهفاً بما يكفي لكي يشعر شعوراً مجرداً بكربه لحالته كفان، حتى في غياب كل خطر مباشر؟ إن هذا الكرب الوجودي الذي يترجم لا معقولة حالتنا كان قد وصفه بشكل جيد جداً البير كاموس. أفليس الأمل في أن نكون محررين منه هو ما يدفعنا إلى البحث الشغوف عن معرفة الزمان الكلية؟

إن العلم يبيح لنا من الآن فصاعداً أن نعتقد أن الصيرورة التي نكابدها سلطانها علينا المتزايدة، من الذرة إلى النجم، من الجزيء الابتدائي إلى الموجود الحي، تكون، إذا صح القول، نسخ الواقعي في ذاته. إن الزمان ليس وحسب ديكوراً للحياة، جملة إحدائيات أو قائد اوركيسترا: فبعمق أكبر يعمل. إنه روح (نفس) المادة بالذات. إنه ليس والحالة هذه فكرة وحسب، ولا حتى مثلاً من المثل، وليس بشكل أكثر نتاج سيرورات ذهنية لأدمغتنا، ولا شيئاً ما وجوده، إذا صح القول، ربما سوف يكون منفصلاً عن الجوهر.

والـ Big Bang وابتعاد المجرات المهيبة في الكون، وتطور الموجودات الحية من الأميبا إلى الإنسان، وولادة طفل وتوجهه نحو البلوغ هي أسطح تظاهرات الزمن-صيرورة. فتتلاش على سوية الجزيء الأولي والنوى الذرية الفردية، صعب الإحاطة به بأدوات العلم التحليلي على سلم المنظومات الفيزيائية للحياة العادية، وهذا لا يتخذ كامل تماسكه (قوامه) إلا في نهايات سلم التعقيد، سواء تعلق الأمر بتعقيد الكون المكاني أو كذلك بالتعقيد البنوي للموجودات الحية. وهاتان النهايتان تتلاقيان في وثاقة الصلة يبحث من أجل معرفة الزمان، هل الأمر صدفة، أو إشارة، إذا كنا مراراً وتكراراً قد صادفنا توازياً بين قدر (مستقبل) العالم وبين مستقبل (قدر) الحياة؟.

الفهرس

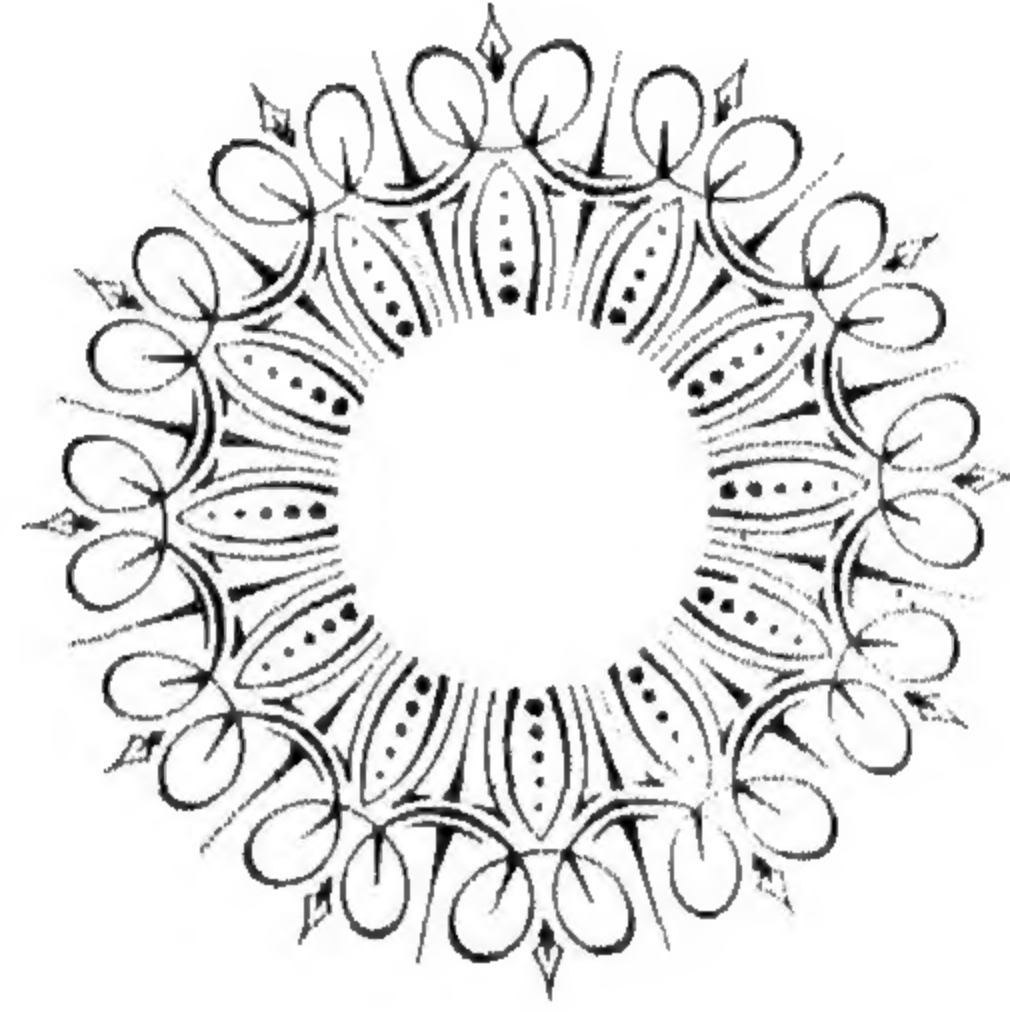
٣ مقدمة
٩ مدخل
	الجزء الأول
١٩ من أين تأتي أفكارنا عن الزمان؟
	الفصل الأول..
٢١ اسطورة العود السرمدي وفكرة التقدم
	الفصل الثاني..
٣١ اختراع مفهوم السرعة الآنية
	الفصل الثالث..
٤١ خطأ لغاليليه مرموق
	الفصل الرابع..
٤٩ نيوتن واكتشاف القانون الثقالي
	الفصل الخامس..
٦١ الزمان في علوم الطبيعة
	الفصل السادس..
٧١ الزمان والمكان

الجزء الثاني

٨١	النظرية النسبوية للزمان السببي
	الفصل السابع ..
٨٣	سرعة الضوء محدودة
	الفصل الثامن ..
٨٩	أنشتاين والنسبية
	الفصل التاسع ..
١٠٣	الزمان ورقص المجرات
	الفصل العاشر ..
١١٩	مفارقة التوأمين، تاريخ آلة الرجوع القهقري في الزمان
	الفصل الحادي عشر ..
١٢٩	حدود الزمان السببي
	الجزء الثالث
١٤٧	من زمان الذرة إلى الكون، انبثاق الصيرورة
	الفصل الثاني عشر ..
١٤٩	زمان الذرات المعلق
	الفصل الثالث عشر ..
١٦٥	عمر الأشياء - ترتيب وفوضى - أنطروپيا وإعلام
	الفصل الرابع عشر ..
١٨٥	بنى تبديدية، تفاعلات دورية

	الفصل الخامس عشر..
١٩٣	من زمان الأشياء إلى زمان الحياة: قفزة تعقيدية.....
	الجزء الرابع ..
٢٠٣	الزمان، محرك الحياة.....
	الفصل السادس عشر..
٢٠٥	ما هي الحياة؟.....
	الفصل السابع عشر..
٢١٧	الحياة: حزمة من الحلقات المتشابكة (المتشابكة).....
	الفصل الثامن عشر..
٢٢٩	المراقبة الزمانية للنمو.....
	الفصل التاسع عشر..
٢٤١	زمان الدماغ و زمان الفكر.....
٢٦٧	الخاتمة.....

۱۹۹۸/۹/۱۵۳۰۰۰



طُبِعَ فِي مِطَابَعِ وَزَارَةِ الثَّقَافَةِ

دِمَشَق ١٩٩٨

فِي الْأَقْطَارِ الْعَرَبِيَّةِ مَا يُعَادِلُ

٤٠٠ ل.س.

سِعْرُ النُّسخَةِ دَاخِلَ الْقَطْرِ

٢٠٠ ل.س.